

**CAMBIANDO EL CHIP EN LA CONSTRUCCIÓN, DEJANDO LA
METODOLOGÍA TRADICIONAL DE DISEÑO CAD PARA AVENTURARSE A LO
MODERNO DE LA METODOLOGÍA BIM.**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

MIGUEL BLANCO DIAZGRANADOS

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C. 2018**

**CAMBIANDO EL CHIP EN LA CONSTRUCCIÓN, DEJANDO LA
METODOLOGÍA TRADICIONAL DE DISEÑO CAD PARA AVENTURARSE A LO
MODERNO DE LA METODOLOGÍA BIM.**

**MIGUEL BLANCO DIAZGRANADOS
CÓDIGO: 503771**

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL

**DOCENTE ASESOR:
ING. ZULLY ALEXANDRA PALOMEQUE SÁNCHEZ
MBA Y ESPECIALISTA HSEQ**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C. 2018**



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Sin Obras Derivadas — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

DEDICATORIA

Dedico el siguiente trabajo de grado a mi esposa que siempre ha sido mi apoyo y a mi hijo que viene en camino ya que son el motor de mi vida.

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de investigación ha sido posible gracias al apoyo de mi familia que ha sabido alentarme en los momentos difíciles, a la docente Zully Alexandra Palomeque Sánchez que ha estado pendiente del desarrollo de esta investigación.

PERIODO: 2018-05

PROGRAMA ACADÉMICO: INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIANTE: MIGUEL BLANCO DIAZGRANADOS – CÓD. 503771

DIRECTOR SUGERIDO: INGENIERA ZULLY ALEXANDRA PALOMEQUE
SÁNCHEZ

CONTENIDO

RESUMEN	15
TÍTULO	16
ALTERNATIVA	16
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	16
INTRODUCCIÓN.....	17
GENERALIDADES	20
1. ANTECEDENTES	20
1.1 Historia sobre el término BIM.....	20
1.2 Historia del programa Tekla Structures ®	22
1.3 Historia del programa Autodesk Revit ®	23
1.4 Historia del programa ArchiCAD ®	24
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	26
2.1 Descripción del problema.	26
2.2 Formulación del problema.....	27
3. OBJETIVOS	28
3.1 GENERAL	28
3.2 ESPECÍFICOS.....	28
4. JUSTIFICACIÓN	29
4.1 DELIMITACIÓN	30
5. MARCO REFERENCIAL	32
5.1 MARCO TEÓRICO	32
5.2 MARCO CONCEPTUAL	36
5.3 ESTADO DEL ARTE.....	39
5.4 MARCO LEGAL.....	45
6. METODOLOGÍA.....	46
6.1 TIPO DE ESTUDIO.....	46
6.2 Fuentes de información	47
LA EMPRESA EN LA ACTUALIDAD	48

7.	¿EN CUAL EMPRESA SE DESARROLLA EL PROYECTO?	48
8.	CULTURA COMO ORGANIZACIÓN	49
8.1	MISIÓN.....	49
8.2	VISIÓN	49
8.3	ÉTICA.....	49
8.4	TALENTO HUMANO	49
8.5	UBICACIÓN.....	49
9.	ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA.....	51
10.	PROCESOS DE LA EMPRESA.....	52
11.	IMPLEMENTACIÓN BIM	54
11.1	Antecedentes de la metodología BIM en la empresa	55
11.2	Objetivo de la empresa al implementar BIM.....	58
11.3	Elección de software para el desarrollo de la metodología BIM	59
12.	APLICACIÓN A UN PROYECTO - FUNCIONES DEL DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES.....	60
12.1	Ubicación del proyecto.....	62
12.2	Descripción del proyecto.....	64
12.3	Distribución del proyecto.....	64
12.4	Métodos de producción de hidrógeno	67
12.5	Estructura de estudio	70
12.6	Organigrama profesional involucrados en el desarrollo del proyecto.....	71
	RESULTADOS.....	72
13.	IMPLEMENTACIÓN METODOLOGÍAS BIM Y CAD A ESTRUCTURA DE PROCESO.....	72
14.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	76
15.	PROPUESTA DE MEJORA.....	78
16.	POLÍTICAS.....	78
16.1	Metodología CAD	78
16.2	Metodología BIM.....	78

17.	LOS PROCESOS	79
17.1	Metodología CAD	79
17.2	Metodología BIM.....	79
18.	LAS HERRAMIENTAS	80
19.	ENTREGABLES	80
20.	BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN BIM.....	80
	CONCLUSIONES	81
	BIBLIOGRAFÍA	84
	ANEXOS	90

LISTA DE FIGURAS

Figura. 1 Representación de modelos independientes con metodología CAD.....	34
Figura. 2 Representación de modelos de información con metodología BIM.....	35
Figura. 3 Ciclo de vida del proyecto	38
Figura. 4 Crecimiento del conocimiento 2010 a 2020.....	42
Figura. 5 Ubicación de la empresa Tipiel S.A. en Bogotá	50
Figura. 6 Organigrama Tipiel SA	51
Figura. 7 Mapa de Proceso de un proyecto en el sector Oil and Gas.....	53
Figura. 8 Mapa de Proceso modelos por disciplinas	54
Figura. 9 Desarrollo plan para una estructura metálica en el departamento de Ingeniería Civil actualmente (sistema CAD).....	56
Figura. 10 Desarrollo plan para una estructura metálica en el departamento de ingeniería Civil propuesta con un sistema BIM	57
Figura. 11 Propuesta implementación con un sistema BIM dpto. obras civiles	58
Figura. 12 Mapa de Funciones Dpto. de Ingeniería Civil.....	61
Figura. 13 Ubicación General del proyecto en Estados Unidos de América.....	62
Figura. 14 Ubicación Específica del proyecto en el estado de Luisiana	63
Figura. 15 Distribución de planta de hidrógeno	64
Figura. 16 modelación 3D todas las disciplinas de planta de hidrogeno	65
Figura. 17 Esquema proceso de producción de hidrogeno	69
Figura. 18 imagen modelo 3D estructura de proceso software Tekla Structures	70
Figura. 19 Organigrama departamento obras civiles	71
Figura. 20 Comparación de horas hombre por etapas de los procesos con las metodologías BIM y tradicional CAD	77
Figura. 21 Estructura de proceso	92
Figura. 22 Componentes básicos Tekla Structures	93
Figura. 23 Componentes básicos Escalera	94
Figura. 24 configuración componente Escalera.....	95
Figura. 25 Componente placa base	96
Figura. 26 Componente conexión riostras	97
Figura. 27 Referencia otras disciplinas en Tekla Structures	98

Figura. 28 Ejemplo de interferencias de otras disciplinas con el modelo Tekla Structures de obras civiles	99
Figura. 29 Modelo 3D todas las disciplinas en Smart Plan Review.	100
Figura. 30 Vista lateral planta de hidrogeno todas las disciplinas en Smart Plan Review.	101
Figura. 31 Escala humana modelo 3D estructura de proceso.....	101

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Pasos con metodología BIM para realización de estructura de proceso....	73
Tabla 2 Pasos con metodología CAD para realización de estructura de proceso...	74
Tabla 3 Tabla de prestaciones vs horas hombre / salario con metodología BIM....	75
Tabla 4 Tabla de prestaciones vs horas hombre / salario con metodología tradicional CAD.....	75
Tabla 5 Tabla de reporte extraída desde Tekla Structures.....	90

GLOSARIO

2D: El adjetivo bidimensional se utiliza para calificar a aquello que tiene dos dimensiones (2D). Un cuerpo que se proyecta a lo largo y a lo ancho, por ejemplo, cuenta con dos dimensiones.

3D: Tres dimensiones son el largo, el ancho y la profundidad de una imagen. En realidad, el único mundo en 3D es el real, la computadora sólo simula gráficos en 3D, pues, en definitiva, toda imagen de computadora sólo tiene dos dimensiones, alto y ancho (resolución).

4D: Cuatro dimensiones, significa que, además de las cualidades del espacio, que son largo, ancho y profundidad (3D, como comúnmente se le conoce); también cuenta con la cualidad de la cuarta dimensión, que es tiempo. Esto quiere decir que el objeto se encuentra en un espacio y en un tiempo real (en su defecto, tiempo virtual).

AIA: American Institute of Architects

Beychok, MR, proceso y tecnología ambiental para producir SNG y combustibles líquidos, informe de EPA de EE. UU. EPA-660 / 2-75-011, mayo de 1975

BIM: acrónimo de Building Information Modeling.

BLM: Building Lifecycle Management

CAD: acrónimo de computer-aided design

H/H: Horas hombre

IFC: Industry Foundation Classes

IPD: Integrated Project Delivery

MEP: Son las siglas en inglés referentes a las instalaciones Mecánicas, Eléctricas e Hidrosanitarias (Plomería). En software se refiere a la capacidad de un programa de apoyar al diseñador, calculista o dibujante en el desarrollo de los servicios para la construcción.

MIT: El Instituto Tecnológico de Massachusetts o Instituto de Tecnología de Massachusetts

MMSCFD: capacity of 20 million cubic feet per day

OIL AND GAS: Hace referencia a la industria petrolera.

SKETCHPAD: El Sketchpad fue el primer programa informático que permitió la manipulación directa de objetos gráficos.

SYNGAS: Gas de síntesis, es una mezcla de gas combustible que consta principalmente de hidrógeno , monóxido de carbono y muy a menudo dióxido de carbono.

RESUMEN

El mundo hoy por hoy vive un acelerado y constante crecimiento desde que inicio el nuevo milenio, sobre todo la industria de la ingeniería y construcción, una rama que venía golpeada debido a la crisis de esta industria al final de los años 90. Este crecimiento viene impulsado por muchos factores económicos a nivel mundial, y uno de ellos fue el desproporcionado aumento del petróleo, lo cual impulsó el crecimiento de muchos países, entre ellos Colombia que ingresó a este campo hacia esa época y se posicionó como una de las economías emergentes en el mundo gracias a este suceso.

Debido a todos estos factores las industrias se vieron en la tarea de dinamizar la generación de proyectos, por lo que las herramientas de dibujo tradicional tuvieron que evolucionar para poder suplir la demanda de trabajo existente; pero esa evolución no fue lo suficientemente competente obligando a implementar nuevas tecnologías como las metodologías BIM, que en ese momento también venían en auge siendo éstas de gran utilidad para llevar a cabo los proyectos.

En los últimos años se han venido mejorando todas estas herramientas poderosas las cuales han ido desplazado los programas tipo CAD. Debido a la complejidad de los proyectos y los tiempos de ejecución de los mismos, las empresas han tenido que incursionar en la era del Modelado en tercera dimensión conocido como 3D y hasta 4D, para ello se vieron en la necesidad de implementar las tecnologías y metodologías tipo BIM (Building Information Modeling), que más que ser modelos 3D son una base de datos que permiten extraer todo tipo de información como áreas, volúmenes, cantidades, propiedades de los elementos, precios y muchas aplicaciones que facilitan el trabajo de constructibilidad y ayudan en la mejora de la productividad.

Este trabajo de grado presenta un marco teórico referente a la tecnología y metodología BIM, así mismo su evolución y hacia dónde se dirige. Seguidamente se plantea un diagnóstico del momento actual del departamento de obras civiles de la empresa Tipiel S.A. que desde hace algunos años ha venido implementando el uso de estas tecnologías, por tal motivo se establecerán estudios que arrojen los resultados de usar la metodología tradicional CAD que venían utilizando y la nueva metodología BIM.

PALABRAS CLAVES

Tecnologías, Metodologías, BIM (Building Information Modeling), CAD, 2D, 3D, 4D

TÍTULO

Cambiando el chip en la construcción, dejando la metodología tradicional de diseño CAD para aventurarse a lo moderno de la metodología BIM.

ALTERNATIVA

Según lo establecido en el Acuerdo 213 art. 2, el presente anteproyecto obedece a la alternativa 3.3. correspondiente a Trabajo de investigación tecnológica.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Gestión integral y dinámica de las organizaciones empresariales.

INTRODUCCIÓN

La construcción de proyectos en general, y principalmente en Colombia, han evidenciado inconvenientes a la hora de entregar documentos de tipo técnico (planos, memorias de cálculo, etc.), dichos inconvenientes provienen de etapas previas a la construcción es decir desde el momento mismo de la concepción del proyecto o en las etapas del diseño; por tal motivo estos problemas impactan de forma negativa en etapas más avanzadas del proyecto por ejemplo en la fase de la construcción, impactando principalmente los plazos de ejecución del proyecto que se traducen en mayores costos para la obra, lo cual desencadena posteriormente problemas de calidad porque es en plena ejecución de la obra donde se procede a solucionarlos, generando interrupciones en los procesos de la realización de la obra.

Las incompatibilidades en los documentos de diseño son producidas debido a dos etapas importantes para la entrega de un proyecto, las de diseño y el ajustado cronograma de trabajo. Los requerimientos exigidos por los clientes hoy en día en las plantas industriales son cada vez mayores y más complejos, con una gran variedad de materiales, nuevas instalaciones, insumos e implementación de procedimientos que exigen a las empresas adoptar no sólo herramientas seguras y eficaces en la gestión y planificación en las etapas tempranas de los diseños, sino también una adecuada integración de las operaciones para mejorar el flujo de trabajo que facilite las tareas rutinarias. No obstante, la mayoría de veces los diseños de los proyectos son aprobados para construcción sin tener en cuenta que los documentos presentan incompatibilidades entre las especialidades involucradas, es decir con interferencias o están incompletos, forzando a las empresas a tomar medidas de choque como reprocesar, analizar y rectificar las insuficiencias mencionadas, pero la mayoría de las veces esto ocurre en plena etapa constructiva, lo cual afecta el cronograma de obra y los plazos que se tenían para la entrega, así mismo los costos debido al reproceso, estas insuficiencias deberían detectarse a tiempo para evitar inconvenientes.

El sector de la construcción requiere de herramientas que mejoren el flujo de trabajo que permitan un mayor control, colaboración y comunicaciones óptimas con otras especialidades para que aumente la calidad de los entregables o documentos, todo esto para que se tenga información precisa y actualizada en todo momento y así prevenir futuros problemas en la etapa constructiva o que se cometan menos errores, pero para mejorar los procesos en las empresas se

debe adoptar una tecnología basada en modelos 3D que pueda almacenar la información del proyecto en forma centralizada, aprovechando las diferentes aplicaciones en el modelo 3D para evidenciar la compatibilización del mismo e inclusive implementar una simulación 4D de la obra. Para ello se propone una metodología de trabajo relativamente nueva a nivel mundial conocida como BIM (*Building Information Modeling*). La característica principal de este tipo de metodología es lograr de forma eficientemente la planeación y ejecución de un proyecto de construcción.

Las siglas BIM significan *Building Information Modeling*, se habla mucho últimamente sobre estas siglas en la industria de la ingeniería civil más precisamente en el sector de la construcción, pero cuando se indaga sobre esta nueva tecnología, surgen definiciones diferentes.

Algunos comentan que BIM es un simulador. Otros dicen que BIM es el modelo en tercera dimensión o 3D. Otros dicen que BIM es una serie de procesos o que BIM es simplemente un almacenaje de datos de una construcción con cierto orden formando una base de datos la cual se puede consultar en cualquier momento. ¹

Seguramente se puede decir que BIM es de todo un poco de lo descrito en las líneas anteriores. Vamos a ver BIM explicado en términos generales según el fabricante de la marca GRAPHISOFT® que es una de las primeras empresas en desarrollar software tipo BIM a nivel mundial.

Cuando algo se convierte en BIM empieza con un modelo digital 3D del edificio. Este modelo no es más que pura geometría y algunas texturas colocadas sobre él para su visualización. Un verdadero modelo BIM consiste en los equivalentes virtuales de los elementos constructivos y piezas que se utilizan para construir el edificio. Estos elementos tienen todas las características -físicas y lógicas- de sus componentes reales. Estos elementos inteligentes son el prototipo digital de los elementos físicos del edificio, como son los muros, columnas, ventanas, puertas, escaleras, etc. que nos permiten simular el edificio y entender su comportamiento en un entorno virtual antes de que se inicie su construcción real. (GRAPHISOFT®).

A continuación, se realizará una breve descripción de cada frase que compone la sigla BIM.

1. BECK, Katherina. "¿Qué es BIM exactamente?" [en línea]. {01 julio de 2015}

- ***Building***: construcción genérica no sólo pensando en edificaciones, sino de infraestructura, renovación urbana, todo lo puede abarcar BIM es un concepto muy global. Incluso ya existen conceptos como *City Information Modeling* que ya empiezan a hablar de la ciudad como gran conjunto de datos que se articula mucho con el tema de BIM.
- ***Information***: se debe gestionar información durante todo el ciclo de vida del proyecto, desde la conceptualización, la operación y mantenimiento,
- incluso hasta la demolición.
- ***Modeling***: Entendido como proceso no hablando de modelar una geometría 3D, creando un prototipo, un elemento virtual que representa algo de la vida normal.
- La **M**: también se podría asumir como (*management*) gestión de la información que se ha creado.

Las anteriores definiciones resumen lo que se busca desarrollar a través del presente proyecto que no es más que una construcción que se modele a través de un sistema de información para permitir una correcta administración de los procesos, lo cual permitirá una eficiencia en los recursos involucrados en todos los niveles constructivos de un proyecto.

GENERALIDADES

1. ANTECEDENTES

1.1 Historia sobre el término BIM.

BIM, es un término que se ha vuelto muy relevante en los campos del diseño y la construcción en los últimos 20 años, pero ¿de dónde vino? La historia es compleja, con artífices de los Estados Unidos, y Europa Occidental que compiten para crear la solución de software de arquitectura perfecta para interrumpir los flujos de trabajo CAD bidimensionales.

Numerosos trabajos han sido producidos por varios autores con el propósito de describir la evolución del BIM, narrado con varios grados de profundidad y con evaluaciones no convergentes, fácilmente rastreables también a través de búsquedas rápidas en la web. No es nuestra intención agregar más trabajo a lo que ya está disponible; sin embargo, es importante notar sólo algunos pasajes sobresalientes de esta evolución.

Desde un punto de vista puramente tecnológico, BIM se puede considerar como parte de un viaje que toma forma a partir de los primeros formatos de gráficos electrónicos desarrollados en los EE.UU. en entornos universitarios ya en la segunda mitad de la década de 1950.

En 1962, se presentó el software SKETCHPAD, desarrollado en el MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) de Boston por Ivan E. Sutherland, como una primera herramienta para rastrear figuras geométricas primitivas en una pantalla utilizando una especie de ratón óptico.

Durante la década de 1960, una parte significativa del mundo de la investigación concentró sus esfuerzos en el desarrollo de técnicas de modelado tridimensional que serán el primer *software* que represente formas elementales de polígonos que también se podían combinar.

Pero el paso más importante fue en 1973 porque ya iniciaba la gestión de figuras en 3D sólidas: tres investigaciones distintas en *Cambridge*, *Stanford* y *Rochester* emiten la primera generación de *software* de modelado sólido.

Más tarde de los años 1975, surge una definición muy cercana al concepto BIM como lo conocemos actualmente, esta definición la expresó un profesor del *Georgia Tech Institute of Technology*,

Charles M. Eastman, en su libro "*The Use of Computer Instead of Drawings in Building Design*" emitió su concepto "*Building Description System*".

Muchos de los costos de diseño y construcción provienen de diseños de dibujo como una forma de informar los registros de construcción. Como alternativa, este documento describe el diseño de un sistema informático útil para almacenar y manipular la información del proyecto en un detalle que permite el diseño, la construcción y el análisis operativo. Un edificio se considera como la composición espacial de un conjunto de partes. El sistema, conocido como el Sistema descriptivo del edificio.²

Charles Eastman ya tenía en mente un modelo paramétrico, es decir un sistema de construcción descriptivo, que se obtiene al agregar elementos gráficos en 3D capaces de contener información geométrica, pero también relacionado con materiales, lo cual era muy adelantado para su época.

A final de los años 70 la industria (principalmente la de los automóviles, naval, y aeroespacial) que había cosechado los beneficios que pueden obtenerse de la utilización de los programas CAD en términos de procesamiento más rápido y reelaborar los proyectos, la reducción de errores y avanzando en la automatización de las fábricas, por lo tanto, pudieron soportar los altos costos de *hardware* y *software* y comenzaron a desarrollar sus propios programas CAD, lo que les permitió abordar las situaciones críticas trabajando de forma sinérgica.

El mundo de la construcción no tomó inmediatamente las oportunidades que ofrecen las nuevas herramientas, y comenzó a adoptar los sistemas CAD (en la primera mitad de los años 80) poco a poco, con la disminución de los costos y con la llegada de las computadoras personales (PC), pero esencialmente "Modo" 2D. De hecho, el uso de estas nuevas herramientas no fue aceptada como una oportunidad de revisión y actualización de los procesos de la cadena de producción, sino como una mera de sustitución de los instrumentos tradicionales, obviamente más lentos, los dibujos hechos en la mesa de dibujo, se sustituyen por dibujos en computador e impreso con plotters.

En los objetos gráficos se hace posible asociar parámetros y reglas (inicialmente geométrica) puede ofrecer ventajas significativas para la gestión del proyecto en su conjunto, mientras que en 2D tradicional y CAD 3D todos los aspectos de la geometría deben ser editados por el usuario, así como la verificación de la coherencia geométrica general después de su modificación, en el caso de objetos paramétricos, esto sucede automáticamente.

2. EASTMAN, Charles.M. *Building Product Models: Computer Environments, Supporting Design and Construction*, 1999. P.27.

Estos objetos se definen como "inteligente" por su capacidad de actualización automática, también en respuesta a los cambios realizados por el diseñador a otros objetos, pero conectados entre sí, lo que resulta en una propagación automática de los cambios y una actualización continua del modelo virtual completo. Por lo tanto, el paso a objetos que contienen no sólo parámetros geométricos, sino también información específica de las entidades reales que representan es conceptualmente simple.

De esta manera, es posible agregar a los objetos características físicas de costo, resistencia mecánica, etc., con relaciones automáticas entre las modificaciones del objeto y la actualización de la información. Por lo tanto, se abre el camino a una nueva tecnología, en este caso BIM.

Y es a partir de mediados de los 80 y principios de los 90 que en este escenario nacen y se desarrollan algunas empresas de software conocidas como Autodesk (Estados Unidos), Bentley (Estados Unidos), Graphisoft (húngaro), Nemetschek (Alemania) y otros, que llevan a cabo sus productos, cada uno con características específicas, pero todos orientados esencialmente a la representación gráfica del proyecto.

Algunos de los programas más importantes en la industria BIM en el mundo son Autodesk Revit®, All Plan®, ArchiCAD®, Tekla Structures® Google SketchUp®.

En Colombia Autodesk Revit® y Tekla Structures®, son los *Software* más utilizados porque se involucran con la parte técnica de los proyectos y son los que se han implementado en la mayoría de compañías.

1.2 Historia del programa Tekla Structures ®

A mediados de la década de 1960, las computadoras y el procesamiento automático de datos estaban bien establecidos en Finlandia. Las compañías que realizaron computación de ingeniería avanzada también habían adoptado Procesamiento automático de datos (ADP).

Debido a la cantidad cada vez mayor de trabajo de computación y la falta de recursos, un grupo de las oficinas de ingeniería establecieron una compañía de software conjunta. La compañía, nombrada Teknillinen laskenta Oy ("informática técnica") se registró en febrero de 1966. En la misma primavera, el nombre comercial de la compañía se abrevió a Tekla. La primera oficina de Tekla estaba ubicada en Helsinki, Finlandia.

Tekla comenzó a operar el 1 de julio de 1966. Los primeros programas de Tekla se completaron en 1967. Los cálculos computarizados cambiaron la forma de trabajar en las oficinas de ingeniería. Los cálculos de ahorro de tiempo hicieron que la ingeniería fuera más eficiente, así mismo más planes integrales y confiables podrían hacerse. El costo de los cálculos usando una computadora también fue significativamente menor que en el cálculo manual. Y como las oficinas de ingeniería aprendieron a facturar a sus clientes por el tiempo de computación utilizado y agregar gastos generales para eso, sus ingresos aumentaron convenientemente, esto alentó a las oficinas de ingeniería para adoptar ADP aún más.

La base de las operaciones de Tekla se definió como consulta ADP, servicios de informática, cursos de capacitación y desarrollo de software. Seis comités de planificación fueron formados en 1967 con el último propósito, que representa las diferentes industrias de las participaciones accionariales. El objetivo de los comités de planificación era definir las características del software común en cooperación con los empleados de Tekla. (De tarjetas perforadas al modelado de productos, p.6) De hecho, estos comités crearon el modelo para la futura forma de trabajar de Tekla: comenzar proyectos para desarrollar nuevos programas en conjunto con los clientes.

Tekla ha continuado sus fuertes inversiones en el mercado internacional durante los últimos años. El 40 ° aniversario de Tekla muestra que el trabajo persistente produce frutos. Internacional operaciones representaron el 75% de las ventas netas en el primer semestre de 2006, y el segundo el cuarto de 2006 fue el mejor de todos los tiempos de Tekla en términos de ganancias operativas. Hoy, Tekla tiene clientes en más de 80 países. ³

1.3 Historia del programa Autodesk Revit ®

La empresa estadounidense Autodesk es conocida mundialmente con su software insignia AutoCAD, pero mientras la compañía impulsaba un enfoque evolutivo para expandir este software, un revolucionario programa llamado Revit entró al mercado. El software de diseño impulsado por parámetros no era nuevo, pero Revit trajo un enfoque de base de datos donde las vistas en 2D, 3D o programación se actualizan como elementos únicos de la base de datos. También era nuevo el concepto del editor familiar donde los usuarios podían

3. ERIKSSON, Thomas. "Tekla en el mundo". {En línea}. {10 diciembre de 2017}

diseñar y personalizar elementos para su propio uso. No pasó mucho tiempo antes de que Autodesk comprara Revit y lo proclamara su "buque insignia" para el mercado arquitectónico.

La llegada de la metodología BIM significó que Revit Building realmente necesitaba un complemento estructural y MEP (mechanical, electrical and piping). Revit Structure llegó en 2005 y Mechanical and Electrical llegó en 2006. Hubo inicios y paradas en Revit MEP a medida que se desarrollaba, aunque la base de Revit se hizo para arquitectos. Tratar de hacer que esa base funcione para los ingenieros no era o no es un ajuste natural. En 2008 fue utilizable; en 2012 parecía alcanzar su punto máximo, Revit se estaba preparando para ir a una solución de caja única en 2013, donde todos los módulos de Revit se vendieron en una sola versión.

Autodesk parece enfocarse en tener una única solución BIM de origen para la comunidad AEC. En este contexto, MEP tiene solo una pequeña parte de la importancia de la nueva solución BIM global de Autodesk. Esto fue evidente en las quejas constantes de los medios sociales de los usuarios de MEP que esperaban que se abordaran los artículos de la lista de deseos. Esto continúa hasta el día de hoy. ⁴

1.4 Historia del programa ArchiCAD ®

La distribución de ArchiCAD comenzó en 1984, la versión 1.0 fue concebida para Apple Macintosh Plus, que apareció en la pantalla monocromática integrada. La velocidad del procesador disponible era de solo 8 Mhz. Graphisoft había sido fundado dos años antes en 1982, por Gabor Bojar e Istvan Gabor Tad.

Los esfuerzos de estos dos socios comerciales comenzaron con la construcción de una calculadora de bolsillo, que Bojer describe como la tradición húngara de reemplazar los recursos informáticos faltantes por cerebros. Desarrollaron un programa especial de modelado en 3D que usaba la capacidad total de la calculadora, y así creó el precursor más antiguo de ArchiCAD-Versión 1.0.

Bojer había estudiado física en la Universidad de la marca Eolvos en Budapest. Después de graduarse en 1973, se convirtió en el principal programador del instituto de geofísica de la universidad, donde desarrolló un software de modelado de terreno, tomando como base otros proyectos desarrollados previamente, estaba firmemente convencido de que las representaciones

4. SHACKELFORD, Todd. "The History and Future of Revit MEP" {En línea}. {15 enero de 2018}

tridimensionales servían para mejorar las condiciones de trabajo de los geofísicos de manera considerable, con esta convicción, usó un método poco ortodoxo que consistía en convertir imágenes similares a las aerofotografías en modelos 3D. Los resultados se convierten en una importante fuente de inspiración tanto para los usuarios como para los desarrolladores de programas. Bojer dejó el instituto en 1981, después de que comenzó la liberalización económica húngara, lo que desencadenó su decisión.

Su próximo proyecto fue el modelado tridimensional del sistema de tuberías de la planta de energía nuclear en Paks, después de completar ese proyecto decidió que era hora de explorar y encontrar un nicho de mercado para el modelado 3D rentable, ese fue el verdadero punto de partida para el desarrollo del software relacionado con la arquitectura.

Después contar el contexto de ArchiCAD en los párrafos anteriores se sabe que el desarrollo local del software, él se encuentra en las posibilidades de trabajos específicos como lo dicen Bob Martens, Herbert Peter en el libro de título ArchiCAD.

Al realizar una mirada a su alrededor en las áreas CAD de las distintas oficinas de arquitectura, queda claro con bastante rapidez que una parte significativa de la información producida todavía se limita a los dibujos bidimensionales (electrónicos) ejecutados "tradicionalmente". Pero ArchiCAD es capaz de mucho más y estas posibilidades se mostrarán atractivamente en este capítulo. La idea de una hoja de datos exhaustiva y universal basada en un modelo de construcción tridimensional se realiza con evaluaciones. La palabra "inteligente" puede parecer un poco presuntuosa y, a menudo, se usa como una afirmación de barker de mercado. Esto puede ser debido a la discusión mal interpretada que rodea los "edificios inteligentes". ⁵

5. MARTENS, Bob & HERBERT Peter. "ArchiCAD: Best Practice: The Virtual BuildingTM Revealed". 2004. P.29.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

¿Es necesario cambiar de metodología tradicional CAD a una nueva metodología basada en modelos 3D, 4D BIM (*Building Information Modeling*)?

2.1 Descripción del problema.

En los diseños de los proyectos de ingeniería y en la construcción de estos mismos se generan pérdidas que son originadas por la falta de información detallada, poco confiable e imprecisa, la cual genera interrupciones en el flujo natural de un proyecto que es necesario para la exitosa ejecución del mismo, también se presentan problemas en los cambios de etapas de un proyecto porque no hay sinergia, y por tal motivo no hay un eficiente control de los trabajos generando una falta de comunicación que no es óptima con las demás disciplinas o especialidades involucradas en el proyecto.

Actualmente en la ingeniería, los diseños de construcción que se están desarrollando a través de la metodología CAD se están generando grandes pérdidas que se ven reflejadas en el desarrollo del proceso constructivo, esto se debe a los siguientes factores:

- Falta de información detallada y poco confiable.
- Imprecisión a la hora de la coordinación entre las diferentes disciplinas involucradas en un proyecto.
- Falta de integración en el flujo de trabajo.
- Comunicación discontinua entre las diferentes disciplinas involucradas en el proyecto.
- Información errónea por la falta de actualización inmediata de los datos a través de la metodología CAD.

Se puede observar en el marco histórico del presente documento, dicha metodología nace con la finalidad de integrar de manera óptima los elementos descritos, para dar solución a una problemática planteada, así como lo fue en su

momento la solución de algunos inconvenientes en el diseño de proyectos con la implementación del sistema tradicional CAD.

2.2 Formulación del problema.

La siguiente investigación consiste en tomar un diseño de una de estas estructuras del proyecto que se está desarrollando en los Estados Unidos de América en el estado de Luisiana, y empezar a realizarla con los dos métodos y comparar los rendimientos entre la metodología CAD tradicional vs la metodología BIM.

La idea es exponer que tipo de impacto puede generar en el departamento de obras civiles de la empresa Tipiel S.A., para analizar si puede ser adoptada o no la metodología BIM, o seguir con la metodología actual, es decir la tradicional CAD, esta investigación servirá como información para el departamento de obras civiles, la cual será tomada en cuenta al momento de tomar una decisión en cuanto a adoptar o no la metodología, dependiendo de las conclusiones y recomendaciones que esta investigación genere, por otra parte también servirá como indicador para futuras investigaciones de este tipo en la comunidad de la ingeniería civil en cuanto a la implementación de nuevas metodologías de diseño de construcción de proyectos industriales interdisciplinarios.

3. OBJETIVOS

3.1 GENERAL

Comparar las mejoras en la implementación de una metodología BIM vs un sistema tradicional CAD en el diseño de proyectos industriales.

3.2 ESPECÍFICOS

- Proponer un marco teórico usando la metodología BIM (*Building Information Modeling*), con el fin de definir las metas de un proyecto en el sector industrial, así como contribuir a la reducción de recursos a lo largo de las etapas de definición del diseño e ingeniería tomando como referencia una de las estructuras, del proyecto Geismar, que se desarrolla en el estado de Luisiana en Estados Unidos, contribuyendo a la reducción de costos y tiempos.
- Presentar las experiencias y resultados obtenidos de la implementación de la metodología BIM, en los procesos de diseño de la empresa colombiana Tipiel S.A. quien desarrolla una parte del diseño de una planta de hidrocarburos.
- Proponer acciones de mejora en la implementación de la metodología BIM en los procesos de diseño comparando algunos procesos con la metodología CAD.
- Presentar conclusiones.

4. JUSTIFICACIÓN

El propósito de esta investigación principalmente fue por dos motivos que condujeron a la realización de este documento.

El primer motivo nació por la necesidad de utilizar las últimas herramientas tecnológicas adaptadas a las condiciones de nuestra realidad, como es el caso del uso de la metodología BIM, que permiten mejorar la planeación y la ejecución de los procesos de construcción. La literatura encontrada en los libros y en la web sólo proporciona información conceptual, y un poco fuera de contexto de nuestra realidad. Por eso se decide experimentar directamente con el uso de nuevas tecnologías, lo cual permite estudiar cómo hacer aplicaciones específicas y conocer su verdadero impacto en el entorno de trabajo, además cómo aporta en el campo de la ingeniería civil, así mismo sus beneficios, para posteriormente evaluar su aplicabilidad y encontrar la forma en que este tipo de herramientas pueda ser implementado en las empresas de construcción.

El segundo motivo es por la necesidad de dar solución a un problema comúnmente cometido en la construcción, se hace referencia a los problemas de discrepancias, interferencias y a la falta de coordinación en los entregables, y que por experiencia en el gremio de la construcción, sumando el conocimiento de profesionales allegados siempre se concluye que el problema está presente y que siempre ha existido y lo más grave es que se ha adoptado como parte de la actividad no sólo en Colombia, también en países de la región, por ejemplo en “Chile (Alarcón y Mardones, 1998), Brasil (Pichi, 1993)”.⁶

Es por eso que se decidió abordar el problema desde el punto de vista de una empresa que necesita ser altamente competitiva en el sector industrial (*oil and gas*, hidrocarburos). Si bien para nadie es un secreto que el sector está decayendo y hay menos inversión que en las épocas del auge petrolero en el país y el mundo, por ese motivo se decide implementar nuevas tecnologías para disminuir costos, optimizar recursos y tiempos de ejecución para seguir en el mercado y tener más oportunidades, además el desarrollo de esta investigación es viable porque es una empresa que cuenta con los recursos, licencias e infraestructura necesaria para desarrollar este tipo de trabajo y cuenta con el talento humano capacitado en este campo.

La metodología BIM permite dar viabilidad a los proyectos de sector de la Ingeniería Civil, puesto que es un método que integra de manera organizada, óptima y eficiente todos los elementos y áreas presentes en un proyecto

6. ALARCÓN Luis F. y MARDONES, D. A. {en línea}. *Improving the design-construction interface, Proceedings*. 2005. p.63

constructivo, desde la fase de diseño que integra los procesos de planeación que son las etapas iniciales y los cuales deben estar bien estructurados y fundamentados para que a la hora de comenzar con los procesos de ejecución en donde se encuentra la fase constructiva se obtengan las utilidades y rendimientos esperados, esto trae implicaciones en el contexto de la ingeniería civil, como se expone en el planteamiento del problema donde dice que el resultado de esta investigación sea capaz de generar un impacto positivo en el departamento de Ingeniería Civil de la empresa Tipiel S.A. y que sirva como referencia en el campo de la construcción para las empresas o futuras investigaciones que estén relacionadas con la implementación de nuevas tecnologías en el diseño constructivo.

4.1 DELIMITACIÓN

Debido a que la investigación se está realizando sobre un proyecto en curso, existen limitaciones en cuanto a que no se pueden comparar todas las estructuras del proyecto aplicando las diferentes metodologías entre sí, ya que por facilidades y como es natural en un proyecto hay fases de diseño por tal motivo sólo se tomará una estructura que pertenezca a la primera fase de diseño y se realizará la comparación entre metodologías (BIM y una CAD). Otra limitación es el lugar de la construcción, por tratarse de un proyecto en otro país y con otro idioma, no se podrá realizar alguna visita técnica para cotejar que lo realizado en sede vaya acorde a lo realizado en el lugar mismo de la construcción.

4.1.1 Espacio

El espacio en el cual se realiza esta investigación es en una empresa de ingeniería de hidrocarburos colombiana perteneciente a un multinacional con presencia en 4 de los 5 continentes llamado Technip, proporcionando las herramientas e información adecuada para el estudio del proyecto en curso.

4.1.2 Tiempo

Como se menciona en los párrafos anteriores se trata de un proyecto en ejecución en fase de diseño y cabe mencionar que los tiempos de ejecución del proyecto en lo que se refiere a la etapa de diseño, van más allá del tiempo disponible para esta investigación, así como los recursos limitados y suministrados por la empresa y por el estudiante.

4.1.3 Contenido

El contenido de esta investigación es solamente de carácter académico y la información aquí consignada puede tener variaciones debido a que esta información ha sido obtenida en fases iniciales de diseño del proyecto de una planta de hidrogeno y los tiempos ofrecidos por la facultad no dan cabida a todo el desarrollo del proyecto.

4.1.4 Alcance

El alcance de este trabajo de grado es el de investigar las metodologías BIM y tradicional CAD en una sola estructura en su fase de diseño y hacer un comparativo para obtener información de cómo afecta la implementación de una nueva metodología en una empresa que tiene sus procesos de trabajo ya establecidos.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1 MARCO TEÓRICO

Los programas con metodología BIM tienen como característica la capacidad de juntar modelos virtuales, los cuales usan objetos paramétricos que muestran un comportamiento que refleja las necesidades del diseño, análisis y pruebas del mismo. Es una forma de trabajo que radica en hacer una simulación lo más parecido posible a las condiciones reales en la cual se va a realizar una obra de ingeniería. La metodología BIM se basa en un modelo 3D inteligente (no confundir con un 3D a secas, como hemos conocido hasta ahora, que lo único que tiene como objetivo es tener imágenes realistas del proyecto). BIM es basada no sólo en sólidos geométricos, sino también en datos, coexistiendo directamente en tiempo real, entre ese modelo y una base de datos, es decir una vinculación constante y permanente.

Una de las principales teorías de cómo funciona una metodología BIM, la propone La Fundación Laboral de la Construcción de España donde habla de la relación de un modelo BIM con otros modelos de otras disciplinas participantes y cuál es su importancia.

El Equipo Fundación Laboral de la Construcción de España dice:

“De esta forma, se integran todas las disciplinas que componen un proyecto de edificación o infraestructuras, permitiendo a todos los agentes integrantes en el mismo (proyectistas, constructores y demás profesionales implicados) acceder y modificar virtualmente su desarrollo, con un exhaustivo nivel de detalle”.⁷

En la actualidad, las herramientas de tipo CAD están presentes en la mayoría de las empresas de ingeniería, arquitectura y de construcción, y eso no tiene nada de novedoso; el problema es que muchas empresas todavía ejecutan las tareas de igual forma a como lo hacían en años anteriores es decir cuando utilizaban las mesas de dibujo, lo que significa que sólo han sustituido las tareas manuales a tareas digitales, lo cual no ha solucionado los problemas que existen en la actualidad.

Como lo explica Picó Coloma Eloi:

A pesar de haber sustituido el papel por la pantalla, el diseño arquitectónico tradicional sigue dependiendo de representaciones literales de modelos independientes. Un modelo es una simulación de una idea o

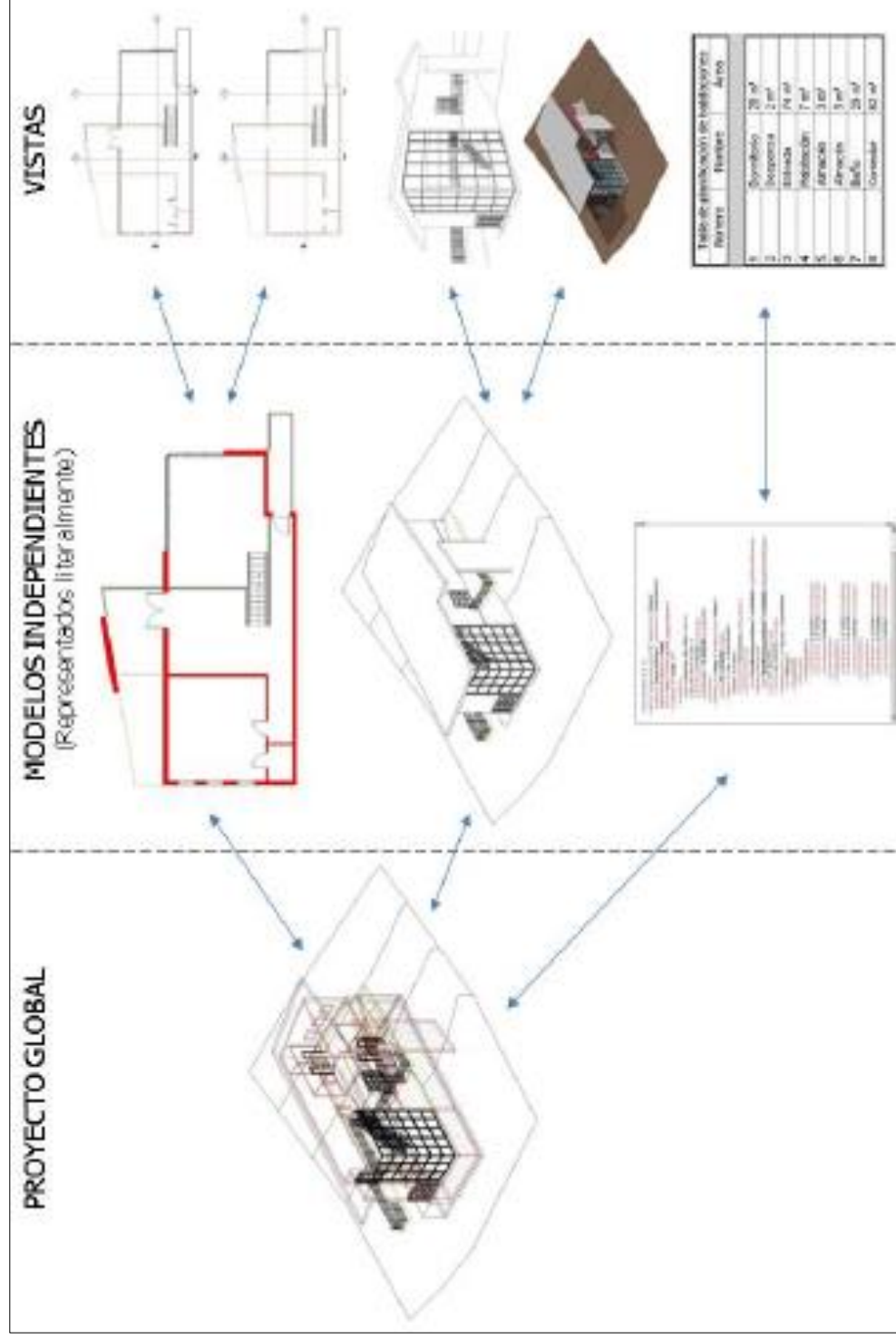
7. Equipo Fundación Laboral de La Construcción. “¿Qué es BIM?” {en línea}. {1 octubre 2017}

comportamiento que se crea para su estudio. Los arquitectos trabajan los modelos mediante sus representaciones bidimensionales, tridimensionales o alfanuméricas, físicas o digitales, de los aspectos que quiere estudiar o simular. Tantas como necesite. El problema es que como que estas representaciones no están necesariamente conectadas entre sí (una planta y un alzado pueden ser perfectamente incoherentes si se pone expresa atención), cada representación se refiere a un modelo independiente. Paradójicamente, a pesar de que un edificio es una entidad unitaria y global, debe estudiarse a partir de multitud de modelos diferentes que sólo tienen en común aquello que el arquitecto haya podido establecer.⁸ (ver figuras 1 & 2).

En esta teoría el autor expone los modelos independientes bidimensionales y los modelos únicos, sabiendo que en la realidad edificación es un sólo conjunto; basados en esta teoría se realizará y se sustentará esta investigación, y se explicará por qué la creación de modelos independientes es nocivo para la realización de los diseños en la ingeniería, además se escoge esta teoría porque es la más acorde con el proyecto de ingeniería que se está realizando actualmente en la empresa Tipiel S.A. ver gráfico 4, (implementación del modelo BIM).

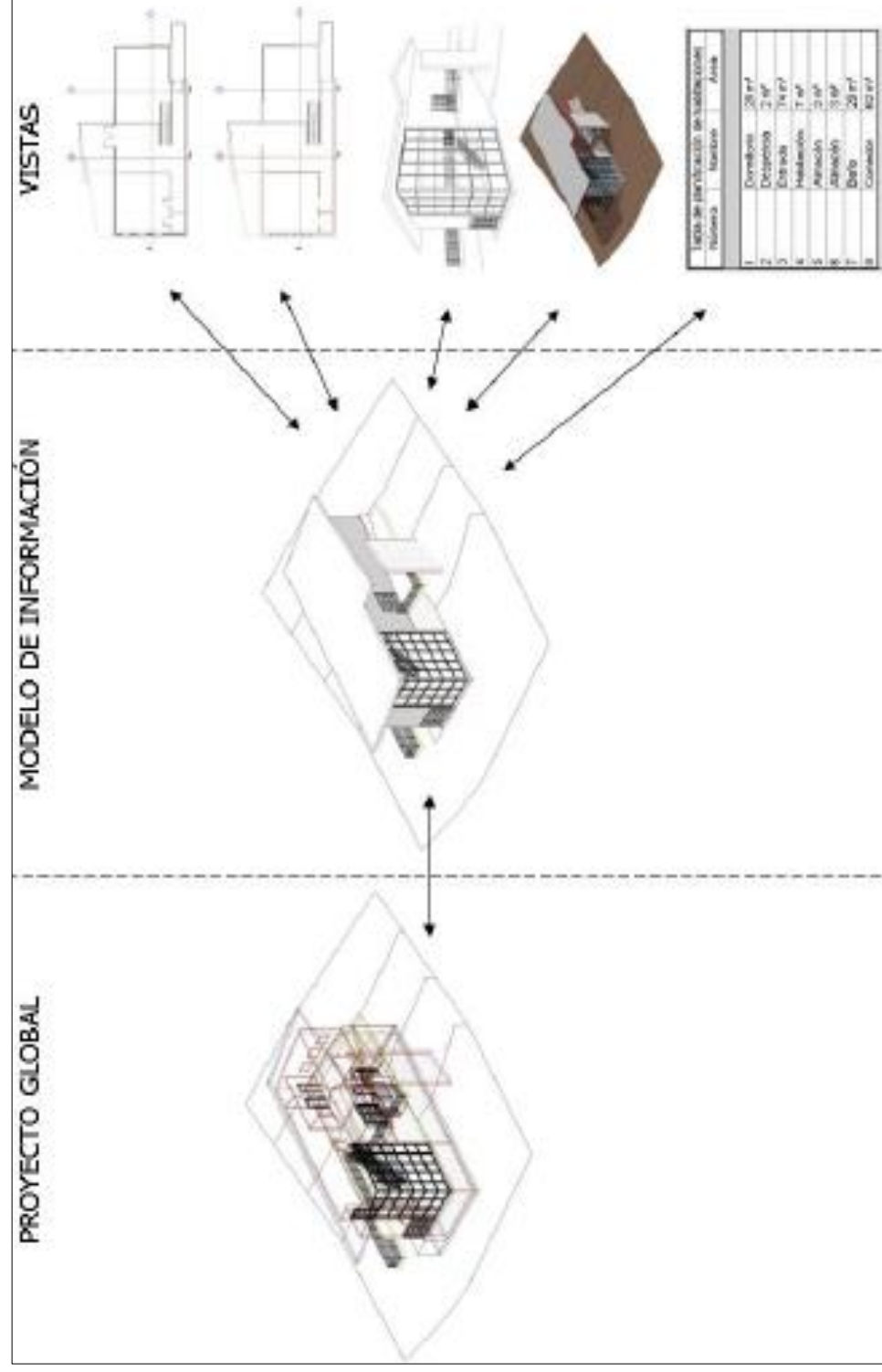
8. COLOMA PICÓ Eloi. *“Introducción a la teoría BIM”*. {en línea}. {03-octubre-2017}

Figura. 1 Representación de modelos independientes con metodología CAD



Fuente:(Coloma Picó - Departament d'Expressió Gràfica Arquitectònica I

Figura. 2 Representación de modelos de información con metodología BIM



Fuente: (Coloma Picó - Departament d'Expressió Gràfica Arquitectònica I

5.2 MARCO CONCEPTUAL

BIM, es un concepto un poco complejo para asimilar y que carece de una única definición y de una definición universalmente válida.

Durante el proceso de modelado de una estructura con un *software* BIM lo primero que se crea es un único modelo en 3D que tiene como representación gráfica el proyecto de construcción en su totalidad. Toda la información del proyecto es introducida en este modelo, por ejemplo, el terreno, estructuras, muros, divisiones, carpinterías, instalaciones, mobiliario, etc.

Además de contar con atributos geométricos y visuales, tienen relacionadas las características funcionales y físicas de cualquier material o producto real, por ejemplo, peso, resistencia, fabricante, referencia, lo que abre un número importante de posibilidades y supone una pieza clave en la industrialización de la construcción.

De igual manera, del modelo 3D se extrae toda la información para la construcción, como los planos generales, planos de construcción y de detalle, presentaciones, infografías, mediciones, cuantificaciones de materiales y volúmenes de obra, entre otros. De este mismo modelo adicionalmente pueden estudiarse y evaluarse a prioridades, antes de la fase de ejecución, por ejemplo, también una gran variedad de factores, entre ellos, la viabilidad técnica y la detección de conflictos, permitiendo así identificar y resolver los problemas iniciales en la fase de diseño, cuando las tomas de decisiones pueden tener un mayor impacto en el costo, tiempo y la sostenibilidad.

Como se puede observar en la figura 2 (Ciclo de vida del proyecto), se explica cómo es el funcionamiento de un *software* tipo BIM que consta de una programación, un diseño conceptual, un diseño detallado, un análisis en este caso estructural, una documentación lo cual serían planos y reportes, también de una fabricación, construcción 4D y 5D, logística de construcción, operación y mantenimiento. Por último, se encuentra la demolición y renovación, pero para la realización de este proyecto de investigación sólo se realizará hasta la etapa de documentación debido a las limitaciones ya expuestas en el numeral Alcances y Limitaciones.

A continuación, se aclarará cada proceso con sus definiciones.

5.2.1 Programación:

Se refiere al levantamiento de toda la data necesaria para concebir el proyecto.

5.2.2 Diseño Conceptual:

Es donde se realizan todos los bosquejos y se grafica la información recabada en el paso anterior.

5.2.3 Diseño Detallado:

Se incrementa la cantidad de información que conlleva todo el concepto para su cabal construcción y funcionamiento.

5.2.4 Análisis:

En este punto es donde se valida todo el funcionamiento de la edificación, incluyendo el cálculo estructural, sostenibilidad, etc.

5.2.5 Documentación:

Se registra y se clasifica toda la información generada durante el modelado y planificación de la construcción.

5.2.6 Fabricación:

Procedimiento en el cual se genera toda la data relacionada con la fabricación de todos los componentes tanto en obra como externamente.

5.2.7 Construcción 4D/5D:

Paso donde se estiman todos los costos y gastos de la construcción.

5.2.8 Logística y Construcción:

Se relaciona todos los procedimientos para cumplir a cabalidad la construcción desde la preparación de la obra, como lo es el montaje y desmontaje de todos los equipos como andamiajes, grúas, tráileres dormitorios, etc.

5.2.9 Administración de Operaciones:

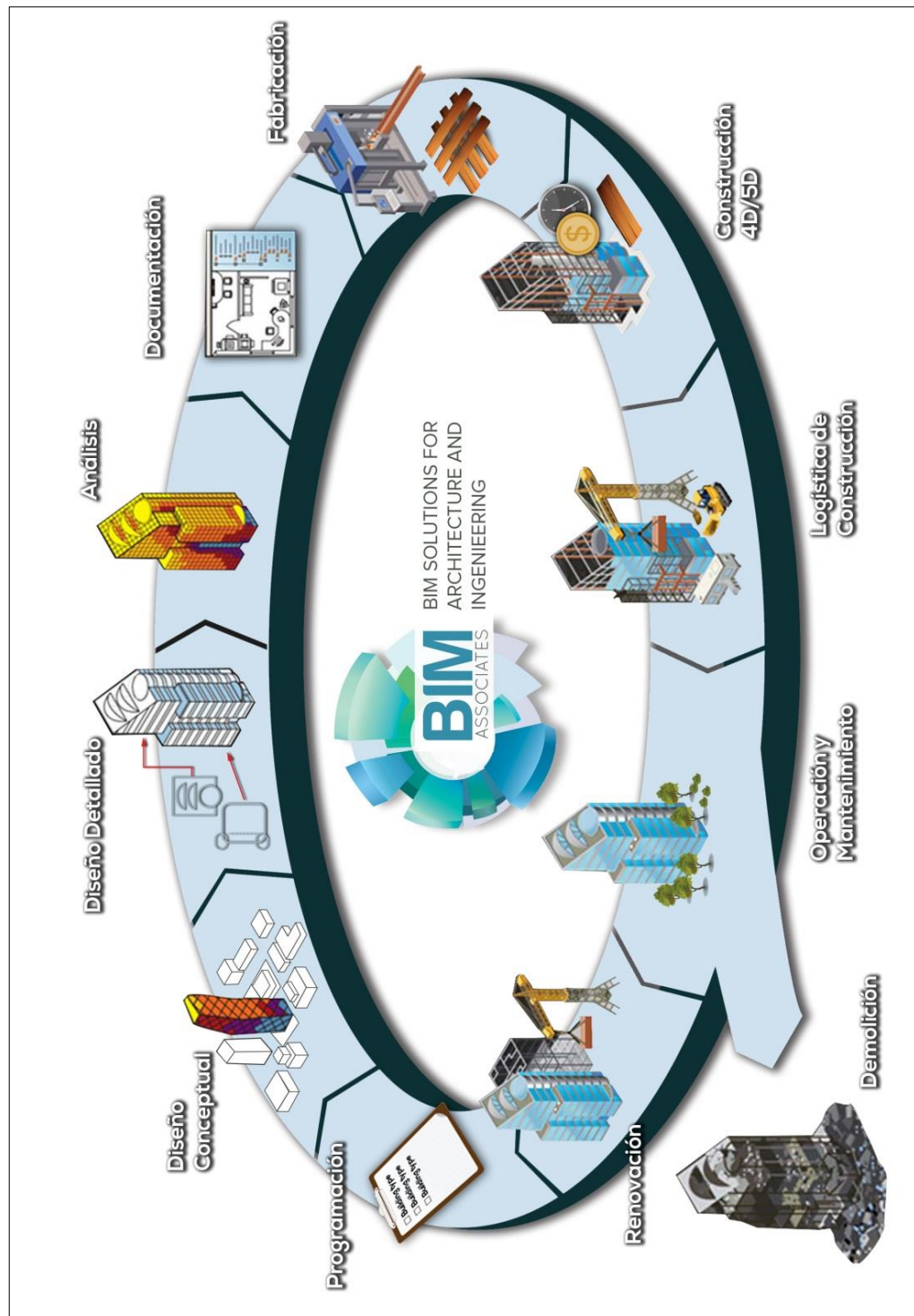
En este paso se considera todo lo relacionado en el modelado para la gestión de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo, también las inspecciones y gestión de desechos sólidos, etc.

5.2.10 Remodelación/ Reciclaje/ Demolición:

En este paso se estipula la demolición total de la construcción. Pero también tiene cabida la remodelación y reciclaje total o parcial de la construcción. De esta manera, se puede seguir el ciclo continuamente

hasta que la construcción no llegue a una etapa de demolición por finalizar su ciclo de vida. ⁹

Figura. 3 Ciclo de vida del proyecto



Fuente: (Consulting & Construction)/

9. C CASTILLO Gabriel. "¿Qué es BIM?". {En línea} {2016}. {05-octubre-2017}.

5.3 ESTADO DEL ARTE

5.3.1 ¿En qué consiste un software tipo BIM?

El *software* tipo BIM es mucho más que un conjunto de herramientas de diseño y dibujo 3D, es una tecnología y método de trabajo con una gran integridad como el uso y manejo transversal, en todo el ciclo de vida del proyecto, de la información que el modelo 3D contiene, es una forma de representación digital de las especificaciones físicas y funcionales de una construcción.

5.3.2 ¿Por qué deberían los profesionales de la ingeniería, arquitectura y construcción estar interesados en BIM?

Cada año ha generado una mayor conciencia entre la profesión de la arquitectura e ingeniería de que la tecnología BIM es real y causará un efecto duradero sobre el diseño y la construcción, el entorno construido y también el futuro mantenimiento y gestión de nuestras instalaciones.

Claramente, un número significativo de empresas han estado invirtiendo y utilizando la tecnología y la metodología BIM durante varios años, al parecer motivados por el deseo de mejorar su propia eficacia y eficiencia. Algunos contratistas también han estado trabajando silenciosamente, integrando BIM en su diseño y gestión de diseño. Está claro que algunas empresas han adoptado la tecnología y han demostrado importantes beneficios reales en todas las etapas del proceso de construcción.

Las eficiencias a través del proceso de diseño se están volviendo más claras. La mayor ganancia individual parecería ser la simple coordinación de componentes utilizando el software de detección de choques combinado con una construcción virtual, lo que significa que los errores se identifican antes de que el trabajo comience en el sitio. BIM también exigirá una mayor atención a la selección de componentes en la etapa más temprana.

5.3.3 Evolución del BIM

El modelado paramétrico permite crear las características de restricción, lo cual crea un modelo de base de datos que es dinámico vinculado a la geometría. Esta evolución dio una solución a la ausencia de información computable, el modelado paramétrico permitió a la industria cambiar los dibujos en escalas múltiples y en hojas de dibujo individuales, es decir que las horas necesarias para volver a digitalizar manualmente disminuyeron notablemente con el tiempo.

Para poder visualizar de forma más clara esta evolución hay que ver una línea de tiempo como la siguiente:

- 1957, Nace el primer software comercial de fabricación asistida por computadora (CAM)
- 1961 incursiona el gráfico generado por computadora y en desarrollo DAC (Diseño Automatizado por Computadora) que se convirtió en el primer sistema CAM / CAD
- 1963, el primer diseño asistido por computadora (CAD) con interfaz gráfica de usuario, "Sketchpad".
- 1975, Charles Eastman publicó un documento que describe un prototipo llamado *Building Description System* (BDS).
- 1982, Gábor Bojár comenzó a desarrollar ArchiCAD.
- 1984 Bojár lanzó Graphisoft's Radar CH para el sistema operativo Apple Lisa.
- 1987 sale al mercado ArchiCAD, convirtiéndolo en el primer software BIM disponible en una computadora personal.
- 1987 Tekla completa su base de datos gráficos y relacionales combinados para su primera versión del sistema.
- 1988 lanzan Pro/ENGINEER en considerado el primer software de diseño de modelado paramétrico comercializado en la historia de BIM.
- 1993 sale a mercado Asesor de Diseño de Edificios en el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley en Era un software que realizaba simulaciones y soluciones sugeridas basadas en un modelo.
- 1997 ArchiCAD lanzó su primera solución de trabajo en equipo basada en el intercambio de archivos.
- 2001, NavisWorks desarrolló y comercializó JetStream, un software de revisión de diseño 3D que ofrecía un conjunto de herramientas para la navegación CAD en 3D.

- 2004, Autodesk lanza Revit 6, que sentó las bases para que equipos más grandes de arquitectos e ingenieros colaboraran en un software modelo integrado.
- 2012, Autodesk desarrolló Formit. Formit es una aplicación que permite la concepción de un modelo BIM en un dispositivo móvil.

Algunos de los programas más importantes en la industria BIM en la actualidad son Autodesk Revit®, All Plan®, ArchiCAD®, Tekla Structures® Google SketchUp®.

5.3.4 BIM en la actualidad

BIM ofrece una oportunidad sin precedentes para las mejoras en la productividad y el ahorro de costos a través de todas las fases de la industria de la construcción desde hace mucho tiempo

Según una encuesta del *Timetric Construction Intelligence Center* (CIC) sustenta que:

“La mayoría de los encuestados de la industria de la construcción dijeron que creen que BIM es el "futuro de la industria". El 49% de los encuestados ya usaba BIM, mientras que otro 10% dijo que planeaba utilizar BIM en un año”.¹⁰

Se puede notar la situación actual de esta tecnología en el mundo y el artículo asegura que los ahorros de costos y las eficiencias fueron los principales impulsores de la adopción de BIM para los encuestados.

“En junio, Research and Markets informó que el mercado internacional BIM, liderado por la región de Asia y el Pacífico, debería alcanzar los \$ 11.700 millones para 2022, una tasa de crecimiento del 21,6% entre 2016 y 2022”.¹¹

Observando estos estudios se puede notar que la tecnología BIM está creciendo en todas las áreas de la construcción en todo el mundo, y la adopción, especialmente en Asia, se ha visto impulsada por mandatos emergentes de BIM, un próspero mercado de bienes raíces y el reconocimiento por parte de los contratistas y otros actores de la industria de los beneficios de BIM.

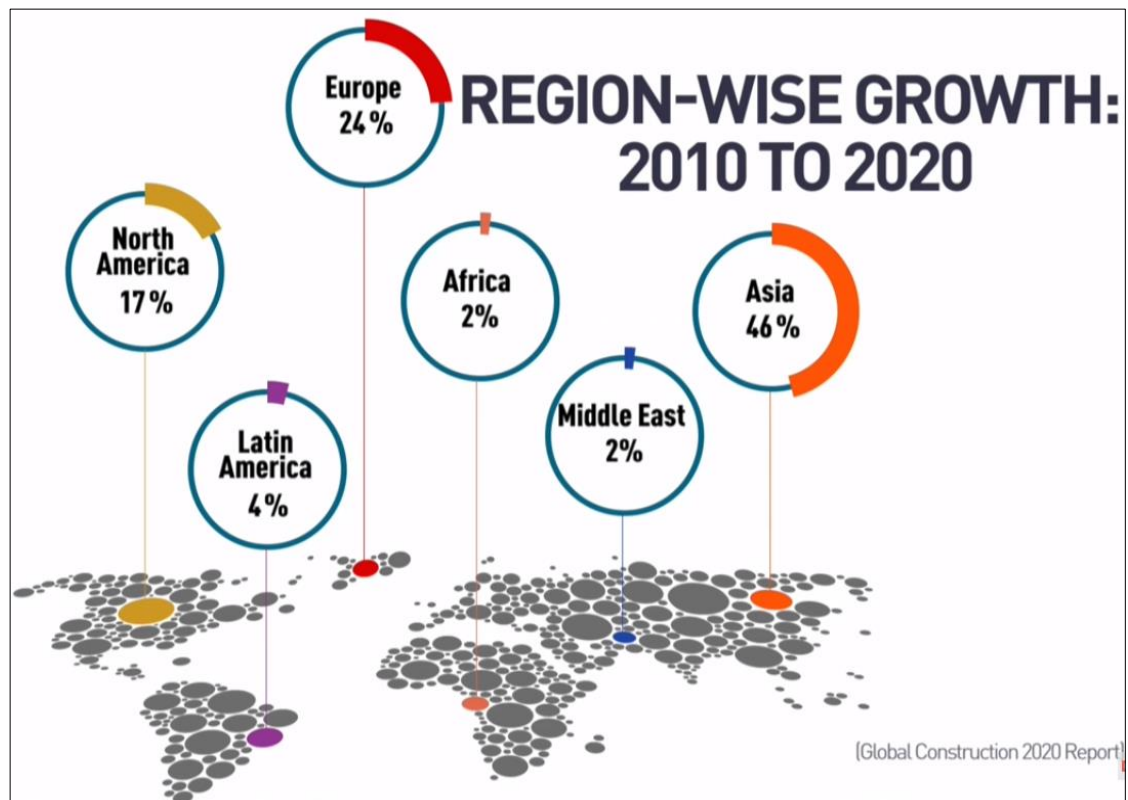
10. SLOWEY K. “BIM perception, use vary among construction team levels”. {en línea}. {2016}. {09-septiembre-2017}

11. SLOWEY K., op. cit.

5.3.5 BIM en Latinoamérica y Colombia

Latinoamérica sólo tiene proyectado el 4% de la utilización de tecnología BIM a nivel mundial (ver figura 4), siendo Chile y Brasil los países con más implementación de estas herramientas tecnológicas. En Colombia, desafortunadamente no se cuentan con estudios recientes para medir estos indicadores, pero lo que sí es claro es que las grandes constructoras nacionales están implementando estas tecnologías y entrenando recursos para hacer sus empresas más productivas y competitivas, por otro lado, las multinacionales están adoptando estas metodologías por mandato de directrices a nivel mundial.

Figura. 4 Crecimiento del conocimiento 2010 a 2020



Fuente: (Singh, Ishveena)

5.3.6 Herramientas BIM en el mercado

Actualmente en el mercado existen una gran variedad de herramientas disponibles las cuales sirven como apoyo para la realización de proyectos con la metodología BIM.

- **ArchiCAD:** es un software arquitectónico BIM CAD para Macintosh y Windows desarrollado por la empresa húngara Graphisoft. ArchiCAD ofrece soluciones especializadas para manejar todos los aspectos comunes de la estética y la ingeniería durante todo el proceso de diseño del entorno construido: edificios, interiores, áreas urbanas, etc. El desarrollo de ArchiCAD comenzó en 1982 para el Apple Macintosh original. ArchiCAD es reconocido como el primer producto de CAD en una computadora personal capaz de crear dibujos 2D y geometría 3D paramétrica. En su debut en 1987.¹²
- **Autodesk Revit:** Fue creado de forma exclusiva para trabajo en modelado BIM. Se trata de un programa con un motor de cambios paramétricos con una base de datos relacional que gestiona y coordina la información necesaria para el modelado del diseño arquitectónico, la construcción, y la ingeniería de un edificio, incluyendo todas las especialidades. Este programa permite crear diseños basados en objetos inteligentes y tridimensionales, los que están asociados para coordinarse automáticamente ante cualquier cambio introducido.¹³
- **Allplan:** es un software BIM de diseño asistido por computadora 2D/3D paramétrico para arquitectura e ingeniería (BIM), desarrollado por la empresa ALLPLAN del Grupo NEMETSCHEK. Funciona bajo el sistema operativo Windows, aunque nació bajo plataforma Unix.

Allplan utiliza la metodología de trabajo BIM y está integrado dentro de un sistema abierto de soluciones para el diseño arquitectónico y de ingeniería, para la gestión de costos.¹⁴

12. IT HISTORY SOCIETY, Team. "Software description". {En línea}. {17 mayo 2014}

13. HILDEBRANDT, G. "¿Qué es Revit y para qué sirve en el modelado BIM?" {En línea}. {29. abril.2015}

14. ALLPLAN, Team. "Allplan Raise your Level" {En línea}. {19 enero de 2018}

- **Tekla Structures:** Tekla Structures es una herramienta para ingenieros estructurales, detallistas y fabricantes. Es una solución 3D basada en modelos integrados para administrar bases de datos de múltiples materiales (acero, hormigón, madera, etc.). Tekla Structures presenta modelado interactivo, análisis y diseño estructural y creación automática de dibujos.

Puede generar automáticamente dibujos e informes del modelo 3D, en cualquier momento. Los dibujos y los informes reaccionan a las modificaciones en el modelo y siempre están actualizados. Tekla Structures incluye una amplia gama de plantillas estándar de dibujo e informe. También puede crear sus propias plantillas usando el Editor de plantillas.

Tekla Structures admite múltiples usuarios que trabajan en el mismo proyecto. Usted y sus socios pueden trabajar juntos en el mismo modelo, al mismo tiempo, incluso en diferentes ubicaciones. Esto aumenta la precisión y la calidad, porque siempre utiliza la información más actualizada.¹⁵

- **SketchUp:** Es un programa de modelado 3D de Google que es conocido por su facilidad de uso. Utilizados con fines arquitectónicos, así como películas y juegos, los diseños se crean en dos dimensiones, que, utilizando un método patentado, se empujan y tiran en tres dimensiones. Introducido en 2000 por Last Software, Google adquirió la compañía en 2006. También cuenta con Google 3D Warehouse es un portal central donde cualquiera puede contribuir con componentes 3D para los usuarios de SketchUp, Se destaca por su integración con Google Earth. Los edificios pueden extraerse de Google Earth y almacenarse como modelos en 3D Warehouse para futuros diseños de SketchUp.¹⁶
- **Edificius:** Es un software muy joven lanzado al mercado en 2015 desarrollado por la empresa Italiana ACCA software quienes vienen desarrollando softwares desde 1989 y nació de la necesidad de los técnicos de la construcción, ingenieros y arquitectos para mejorar el propio trabajo diario.

15. CONSTRUSOFT, Team. "Tekla Structures" {En línea}. {19 enero 2018}

16. PCmag, Team. "Definition of: Google Shetchup" {En línea}. {19 enero 2018}

Edificius es el primer BIM integrado con el Real Time Rendering es decir que siempre se va obtener un renderizado¹⁷ del edificio en cualquier etapa del diseño.

El desarrollo de Edificius sigue sin parar, y por eso es muy apreciado en el mercado internacional. A pesar de su juventud, Edificius ya es software maduro y no tiene nada que envidiar a los otros en el sector.¹⁸

5.4 MARCO LEGAL

Últimamente se ha hablado mucho del término BIM y más en el gremio de la ingeniería y construcción, pero da la sensación de que en Colombia no hay una autoridad que emita un concepto en el cual todos estén de acuerdo. Algunos dicen que es una forma de diseñar con la evolución tecnológica, otros dicen que son trabajos donde colaboran todos apoyados en un modelo digital, otros dicen que BIM es una gestión, etc.

La verdad es que cuando ha llegado el momento de implementar una metodología tipo BIM, no es muy claro cuál es el camino a seguir, pero a nivel mundial hay países que tienen normativas con respecto a los programas BIM y son exigidas en las contrataciones gubernamentales, tal es el caso del Reino Unido por medio del Instituto de Normalización del Reino Unido (*BSI – British Standards Institution*), por sus siglas en inglés, emitió una serie de parámetros que tienen como objetivo implementar los procesos BIM a todas las obras publicas en cada fase del proyecto.

“A partir de 2016 todas las empresas que trabajen para obras estatales deberán cumplir con esta normativa que tendrá como objetivo principal reducir entre un 20% y 30% los costos de las obras públicas”.¹⁹

Claramente se puede observar que el mundo se está volcando hacia este tipo de tecnologías, “en Colombia las instituciones del estado no han expresado la intención de involucrar la metodología en proyectos públicos como ocurre en algunos países vecinos”²⁰ como es el caso de Chile, “el gobierno ha tomado una iniciativa que tiene como objetivo que organismos públicos utilicen BIM en su infraestructura. Esto conlleva la consolidación de nuevos modelos de trabajo en los que intervienen todos los actores implicados en el desarrollo de proyectos constructivos”²¹. De momento es todo un éxito.

17. Término usado en jerga informática para referirse al proceso de generar una imagen, fotorrealista o no, partiendo de un modelo en 2D o 3D.

18. ACCA SOFTWARE, Team. “Edificius es el software BIM para el diseño arquitectónico 3D siempre al paso con las normativas y las nuevas tecnologías.” {En línea}. {19 enero 2018}.

19. AMBOSIO Federico. “Normativa BIM para obras públicas en el Reino Unido”. En: Diario el Clarín. [en línea] 2015

20. GONZALES, Angelica. “El BIM en latinoamerica”. {En línea}. {22 febrero 2018}.

21. MORALES, Bárbara. “El BIM en latinoamerica”. {En línea}. {22 febrero 2018}.

6. METODOLOGÍA

La metodología empleada en esta investigación consta de 6 fases de acuerdo con el cronograma de actividades planteada por la facultad de ingeniería de la universidad católica de Colombia.

- **Fase 1:** Búsqueda de información detallada de metodología BIM, y se estudiará la situación actual de la empresa.
- **Fase 2:** Estudio de los antiguos procesos o metodologías de la empresa Tipiel S.A., sus rendimientos y tiempos de los mismos, también los procesos estratégicos y operativos por medio de flujo gramas o diagramas.
- **Fase 3:** Implementación de la metodología BIM y descripción de las características del software que se va a utilizar con dicha metodología, a su vez presentar los objetivos de la implementación y hacer un mapa de procesos.
- **Fase 4:** Presentar las lecciones aprendidas en la implementación BIM, comentarios de las lecciones aprendidas.
- **Fase 5:** Presentar propuestas de mejora, proponer un alcance de la mejora en el proceso de diseño con indicadores para la medición de desempeño y compararlo con los antiguos procesos de la empresa Tipiel S.A., y evidenciar cuales fueron los beneficios de la implementación.
- **Fase 6:** Presentación y sustentación del trabajo de investigación, así mismo se socializará ante la comunidad estudiantil los resultados del trabajo realizado por medio de un poster y una exposición

6.1 TIPO DE ESTUDIO

Este trabajo de grado hace referencia a un tema práctico, por lo tanto, son una serie investigaciones que se apoyan en la demostración de un hecho o fenómeno, por medio de una aplicación práctica donde se reafirma o se refuta una teoría.

6.2 Fuentes de información

Por tratarse un trabajo de grado práctico, la gran mayoría de las fuentes de información de esta investigación son secundarias, porque son éstas las que contienen información elaborada, producto de estudios que refiere a documentos que son de orígenes primarios u originales.

LA EMPRESA EN LA ACTUALIDAD

Este capítulo tiene como enfoque el escenario en el cual está actualmente la empresa Tipiel S.A., que desde hace un año aproximadamente viene aplicando la metodología BIM; por tal motivo se plantea como finalidad conocer sus procesos en la etapa de diseño desde el punto de vista del departamento de obras civiles aplicado a una planta para la producción de hidrógeno en el país de Estados Unidos de América, y compararlo con la metodología tradicional CAD, el cual también vienen empleando para saber cómo es la aplicación de dicha metodología en estos procesos de diseño.

La finalidad es realizar una propuesta de mejora en el siguiente capítulo. Primeramente, se presentará a la empresa y su organigrama, seguidamente los procesos generales del departamento de obras civiles para diseñar una estructura metálica para unos de los procesos importantes en una planta de producción de hidrógeno, y finalmente se detalla la comparación de la metodología BIM y tradicional CAD en la etapa de diseño, y por último se presentan las conclusiones más relevantes.

7. ¿EN CUAL EMPRESA SE DESARROLLA EL PROYECTO?

Tipiel S.A. es una compañía colombiana de ingeniería y construcción, constituida en 1975 con capital nacional y extranjero, cuyos principales accionistas son: El grupo Technip, Grupo de Inversiones Suramericana e Inversiones Ascona S.A.

Desde su fundación hace ingeniería de calidad y se caracteriza por ser una compañía sólida y en constante crecimiento, con un innovador y eficaz programa de entrenamiento que garantiza el alto nivel de conocimiento de sus ingenieros.

La compañía es especialista en ingeniería para los sectores de Producción y Refinación de Petróleo, Petroquímico y Gas, sin embargo, la ejecución de más de 250 proyectos, ha permitido que incursione en los sectores de Energía, Química Fina, Infraestructura, Industria, Agroindustria y Biocombustibles.

Por otra parte, está en capacidad de realizar desde los estudios de factibilidad y las ingenierías conceptuales de una nueva planta, hasta la ingeniería, compras y construcción del proyecto. Además, ofrece servicio de administración de proyectos de ingeniería, compras, suministros de materiales y construcción con la participación de las especialidades en ingenierías de: proceso, civil, mecánica (equipos), tubería, instrumentación y automatización y eléctrica.

Tipiel S.A. tiene una amplia experiencia en la gestión y el desarrollo de este tipo de proyectos, y, además, cuenta con el apoyo del grupo Technip para la ejecución de mega proyectos en Colombia y en el mundo y para la capacitación del personal en otros países. ²²

8. CULTURA COMO ORGANIZACIÓN

8.1 MISIÓN

Brindar nuestro conocimiento, capacidad y determinación para impactar positivamente la economía de los proyectos de nuestros clientes.

8.2 VISIÓN

Mejorar el desempeño de la industria energética e infraestructura en el mundo.

8.3 ÉTICA

En las interacciones con sus grupos de interés, Tipiel se compromete a actuar con integridad, transparencia, equidad, justicia y en pro del bien común y procura que en el ámbito laboral estos valores sean practicados por cada persona de la compañía de manera individual y colectiva.

Tipiel acoge e implementa en todas sus actividades empresariales los diez principios del Pacto Global.

8.4 TALENTO HUMANO

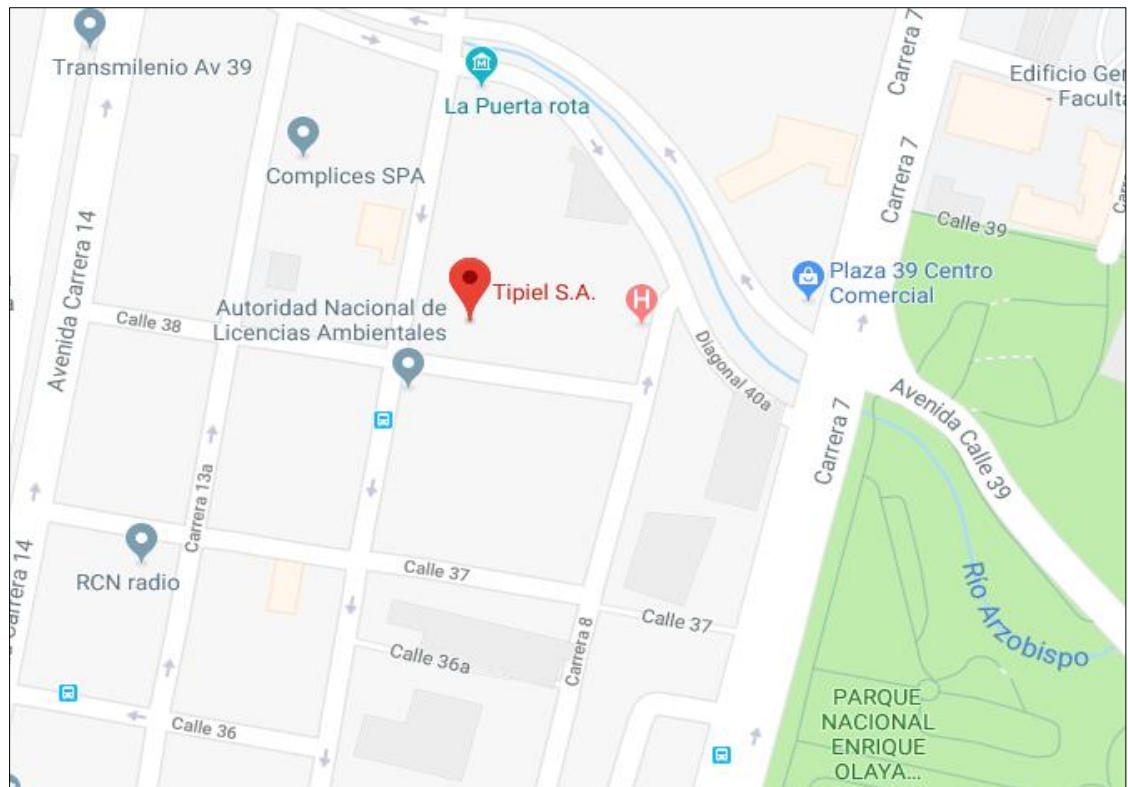
Tipiel tiene como característica principal la transferencia de tecnología, el equipo humano altamente calificado y el mejoramiento continuo de productos y servicios de alto valor. En el punto más alto de la empresa contaba con más de 1200 empleados contando con más de 300 ingenieros de distintas especialidades.

8.5 UBICACIÓN

Tipiel se encuentra ubicada en Bogotá, Colombia, siendo esta la sede principal y tiene capacidad de operar en toda el área andina y además cuenta con sucursales en Argentina y Perú.

22. TIPIEL SA, Comunicacion. "acerca de la empresa." {En línea}. {19 enero 2018}

Figura. 5 Ubicación de la empresa Tipiel S.A. en Bogotá

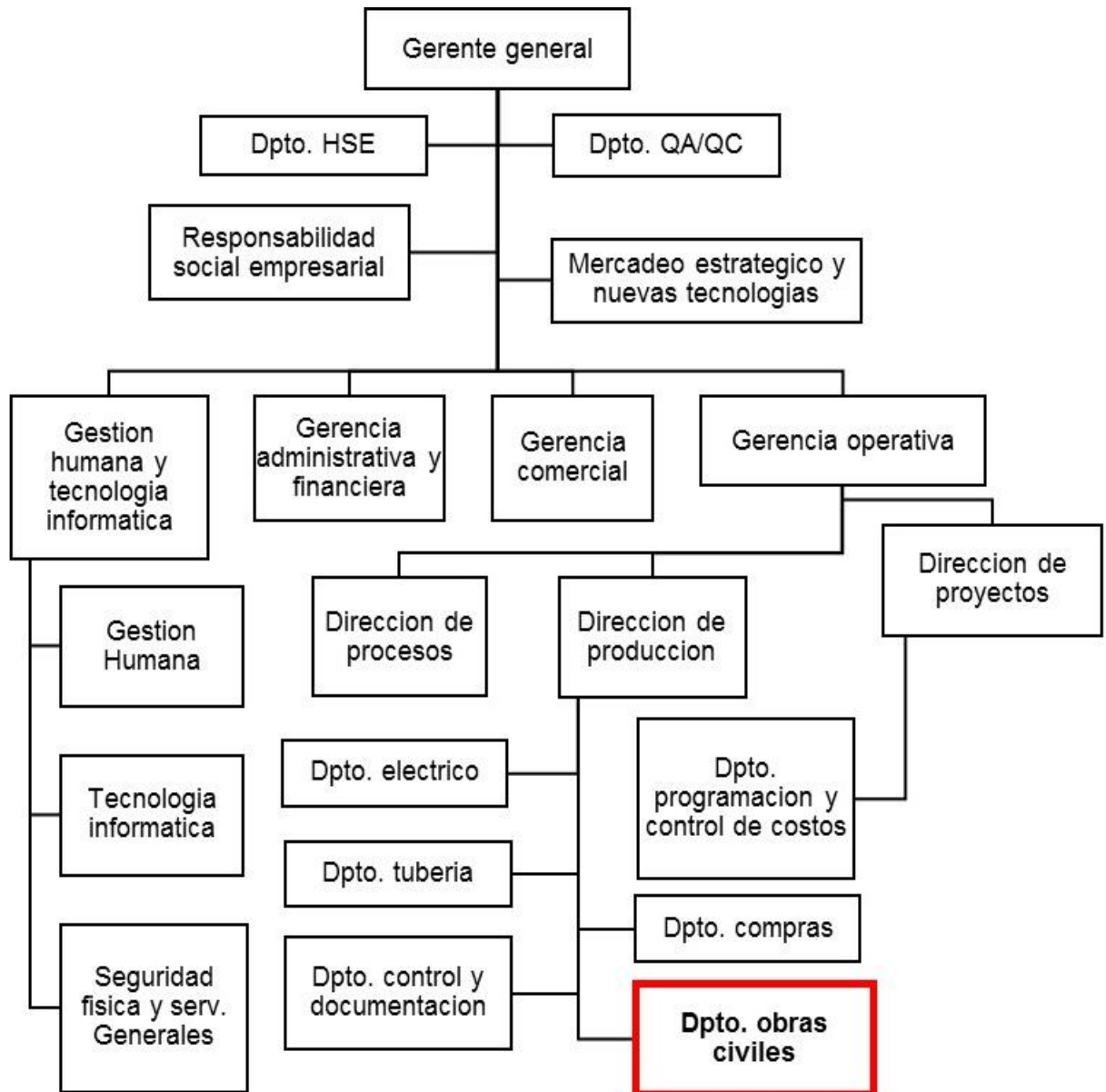


Fuente: Google Maps (<https://goo.gl/maps/s2s9uxbfkH2>).

9. ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA

A continuación, se muestra la representación gráfica de la estructura de la Tipiel S.A., en la cual se muestran las relaciones entre sus diferentes partes y la función de cada una de ellas.

Figura. 6 Organigrama Tipiel SA



Fuente: propia

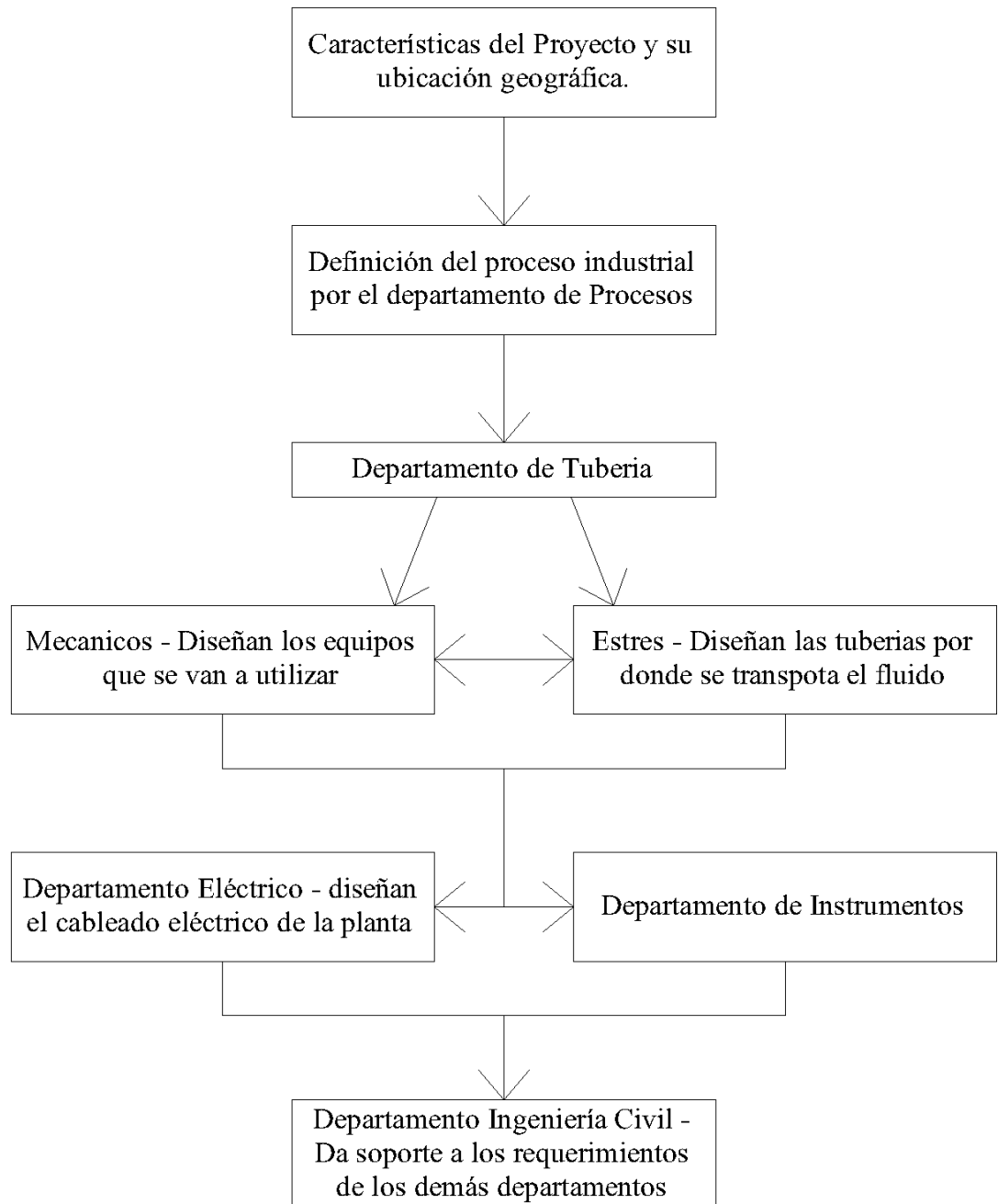
10. PROCESOS DE LA EMPRESA

En el presente párrafo se describirá de manera breve como inicia el proceso de concepción de un proyecto en una planta industrial (desde la perspectiva de la ingeniería civil), y como debe regirse por tratarse de un proyecto con componentes industriales.

Las primeras etapas son de conceptualización aterrizadas a través de la disciplina, de proceso (ingenieros Químicos), que son quienes definen cuáles son los procesos y pasos que hay que seguir en la cadena de producción de la planta, una vez definida la cadena se genera la información de entrada a la siguiente disciplina la cual es el departamento de tubería, estos últimos se dividen en dos sub departamentos, los ingenieros mecánicos que son los que diseñan los equipos requeridos que se van a necesitar en la planta y los ingenieros de estrés que son los que diseñan las tuberías y las cargas a soportar por la cual se van a transportar fluidos o gases; una vez definidos estos componentes se genera la información de entrada a los departamentos de eléctrica e instrumentación, éstos son los que generan el cableado que necesitan los equipos para el funcionamiento eléctrico y el funcionamiento de los medidores, válvulas, tacómetros, interruptores, etc., (llamados instrumentos).

Al final de estas definiciones es cuando entra la ingeniería civil, cuya función es dar soportes a los equipos y tuberías definidos por el departamento de tubería, ya sea por medio de fundaciones para equipos en tierra o estructuras para equipos un poco más elevados (como es el caso de la estructura de proceso que se tomó como ejemplo para esta investigación), también se le proporciona soporte de tubería los cuales son de distintos diámetros y éstas generan cargas desiguales, además estas estructuras soportan las bandejas por donde pasan los cables eléctricos que viajan por medio de bandejas. Se recomienda ver la figura 1. (Mapa de proceso proyecto planta industrial) donde se muestran los pasos a seguir en la construcción de la obra.

Figura. 7 Mapa de Proceso de un proyecto en el sector Oil and Gas



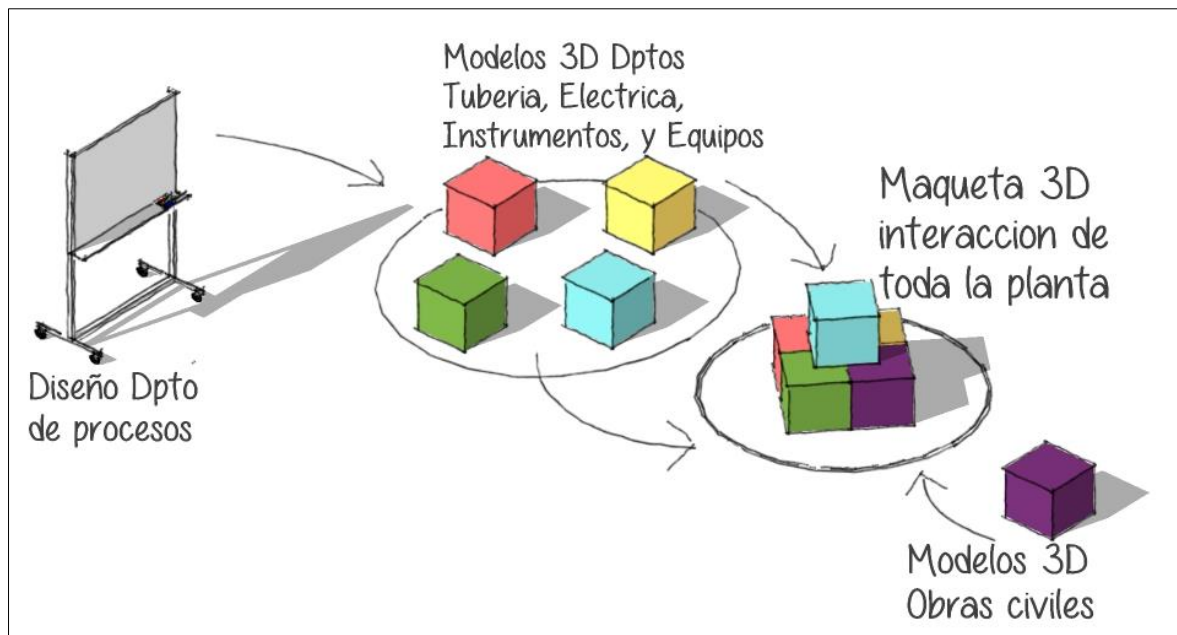
Fuente: Propia.

11. IMPLEMENTACIÓN BIM

Los proyectos dentro de la empresa han estado centrados en la atención a los detalles y la calidad de los entregables, y en la búsqueda de la satisfacción del cliente se decide cambiar la metodología de trabajo.

Como se puede evidenciar en los procesos de la empresa, concerniente al departamento de obras civiles, es que todos los pasos expuestos en el numeral anterior generan problemas graves en el departamento, porque éste se encuentra ubicado en el último paso de dichos procesos, por ende tiene que coexistir con unos modelos en 3D ya realizados por las demás disciplinas, es por eso que surge la necesidad de implementar una forma de trabajo donde se pudieran integrar todos los modelos de las otras disciplinas (ver figura 8) con los modelos propios del departamento de obras civiles con la finalidad de optimizar tiempos, costos y plazos en las entregas; al ver estas necesidades se decide implementar la metodología BIM en el departamento.

Figura. 8 Mapa de Proceso modelos por disciplinas



Fuente: Propia.

11.1 Antecedentes de la metodología BIM en la empresa

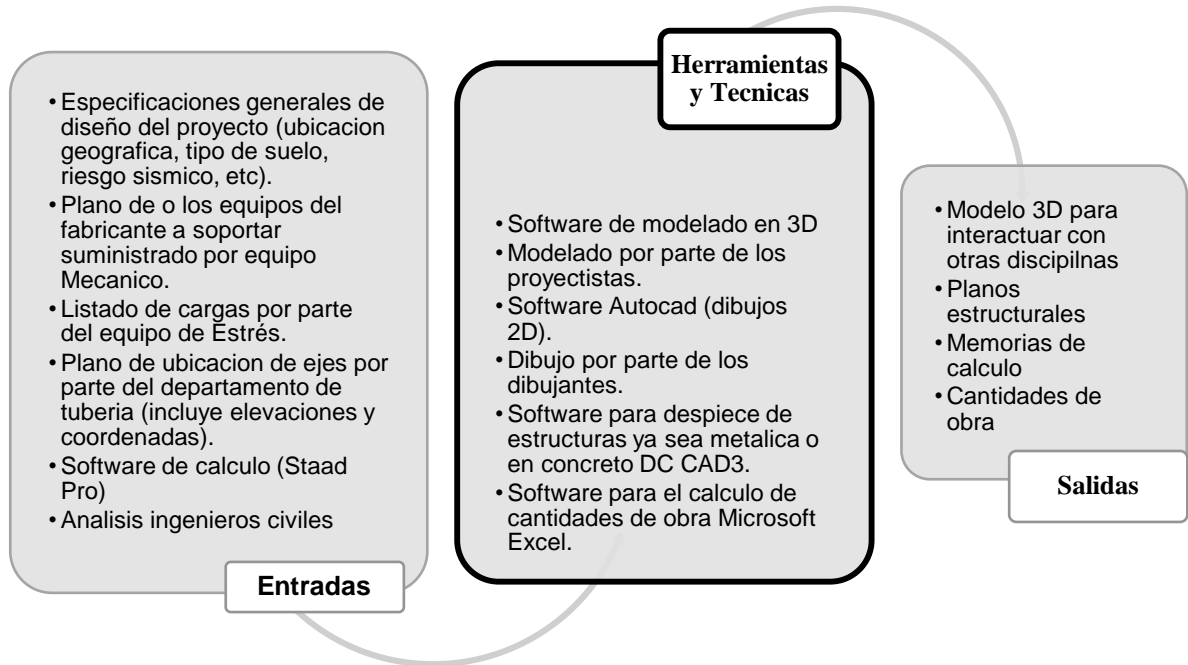
En los últimos años en la empresa Tipiel, se han conseguido buenos resultados en cuanto a productividad con las herramientas actuales, a pesar de ser una empresa dedicada al sector de los hidrocarburos (oil and gas), sabiendo que el sector ha tenido un decremento a nivel mundial recientemente.

La empresa ya cuenta con herramientas y metodologías tipo BIM, pero estas metodologías son exclusivamente para ciertos departamentos como los de tuberías y procesos, los demás departamentos incluyendo obras civiles usan la tradicional metodología CAD.

El departamento de obras civiles decidió implementar la metodología BIM a finales de 2015, sin tener mucho éxito debido a que empezó a utilizarla en un proyecto con características de alta complejidad e incompatible con las normas de construcción del país donde se estaba desarrollando dicho proyecto, Rusia. Por tal motivo se utilizó el software para realizar modelado únicamente sin incluir mayor información y el resto de los entregables se realizaban de la manera tradicional, para los dibujos AutoCAD y para las cantidades de obra se utilizaban macros de Excel.

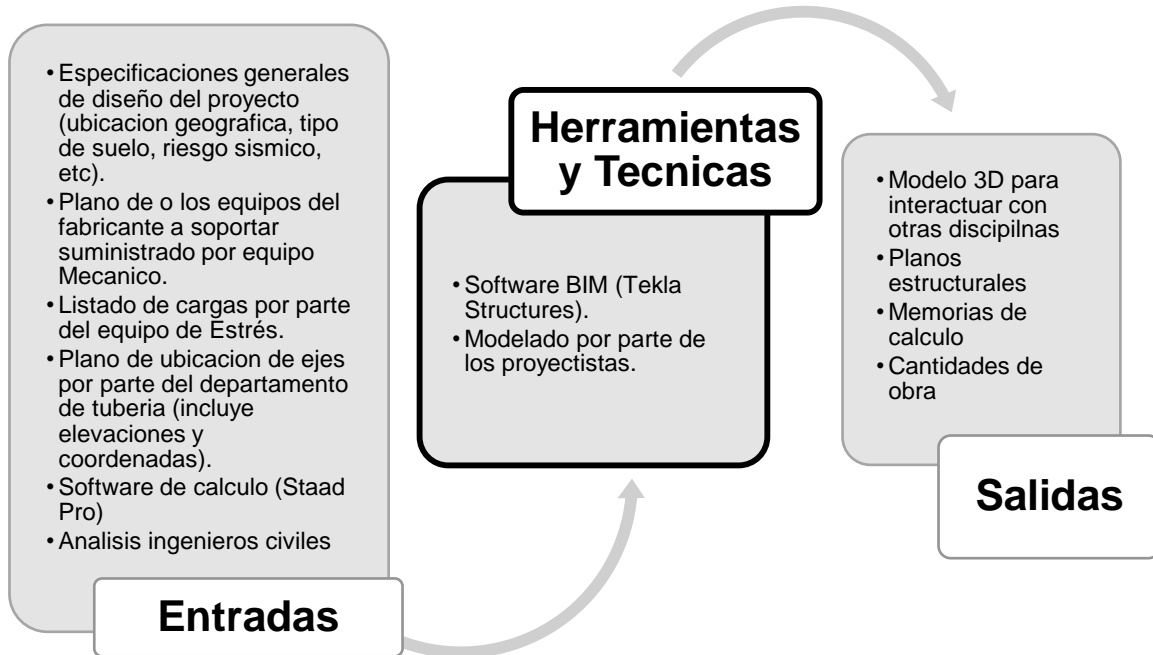
Para la realización de este proyecto (Geismar), se decide implementar nuevamente la herramienta BIM con el software Tekla Structures, sin estar completamente seguros de los resultados, debido como se explica en los párrafos anteriores no tuvo mucho éxito, pero al ver las características de este tipo de proyecto y los estándares de los mismos se decide dar luz verde para la iniciación del mismo. Es por eso que esta investigación se realiza para poder observar los resultados y así ayudar en saber si se tomó una decisión acertada. Cabe aclarar que el departamento de obras civiles para este tipo de decisiones también tiene en cuenta otros tipos de factores.

Figura. 9 Desarrollo plan para una estructura metálica en el departamento de Ingeniería Civil actualmente (sistema CAD)



Fuente: Propia

Figura. 10 Desarrollo plan para una estructura metálica en el departamento de ingeniería Civil propuesta con un sistema BIM



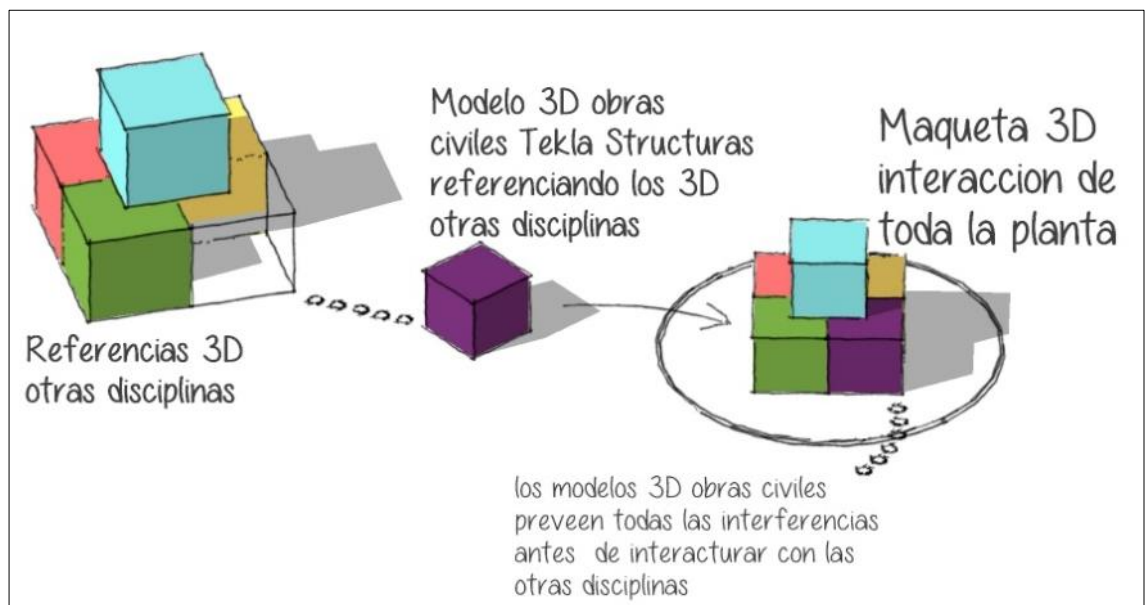
Fuente: Propia

11.2 Objetivo de la empresa al implementar BIM

El objetivo del departamento de obras civiles inicialmente era implementar esta metodología y herramienta para proyectos de alta complejidad como se explica en el punto anterior, por tal motivo se decide utilizar en el proyecto actual el cual es motivo de investigación de este trabajo de grado.

Actualmente el objetivo del departamento es poder interactuar con las demás disciplinas cuando ya haya un modelo 3D preestablecido por otras disciplinas, adicionalmente establecer parámetros para el desarrollo, implementación de métodos y procesos de trabajo con modelos tipo BIM utilizando el software Tekla Structures, para contribuir al mejoramiento y aumentar la calidad en los trabajos realizados por el departamento de obras civiles.

Figura. 11 Propuesta implementación con un sistema BIM dpto. obras civiles



Fuente: Propia

11.3 Elección de software para el desarrollo de la metodología BIM

Como se puede apreciar en el punto “herramientas BIM en el mercado” se describe una gran oferta de herramientas de este tipo, pero la gran mayoría de estas herramientas son de tipo arquitectónico y para necesidades muy específicas en el mercado del diseño y de la construcción, al tener este panorama la empresa y el departamento decide que se necesita un software netamente de ingeniería civil es por eso que opta por elegir la herramienta Tekla Structures.

Descripción Tekla Structures:

Es una herramienta para ingenieros estructurales, detallistas y fabricantes. Es una solución 3D basada en modelos integrados para administrar bases de datos de múltiples materiales (acero, hormigón, madera, etc.). Además, presenta modelado interactivo, análisis y diseño estructural y creación automática de dibujos.

Puede generar automáticamente dibujos e informes del modelo 3D, en cualquier momento. Los dibujos y los informes reaccionan a las modificaciones en el modelo y siempre están actualizados. Adicionalmente incluye una amplia gama de plantillas estándar de dibujo e informe. También puede crear sus propias plantillas usando el Editor de plantillas.

Tekla Structures admite múltiples usuarios que trabajan en el mismo proyecto, donde varios usuarios pueden trabajar juntos en el mismo modelo, al mismo tiempo, incluso en diferentes ubicaciones. Esto aumenta la precisión y la calidad, porque siempre utiliza la información más actualizada.

Beneficios de usar Tekla Structures

- Modelos “construibles” y gestión de la información para mejorar la ejecución de una obra.
- Creación de modelos realistas de forma rápida y precisa.
- Uso del modelo BIM para organizarse, realizar estimaciones y planificar el hormigonado.
- Use el modelo y toda su información en obra.
- Modelado y cubicación exacta de armaduras, placas, tornillos, embebidos.

- Medición de superficies de encofrado de forma precisa.
- Generación de puntos de replanteo.
- Aviso y control automático de choques/interferencias de la estructura con distintas disciplinas (piping, instalaciones, equipos...).
- Revisiones y actualizaciones de cambios de manera automática.

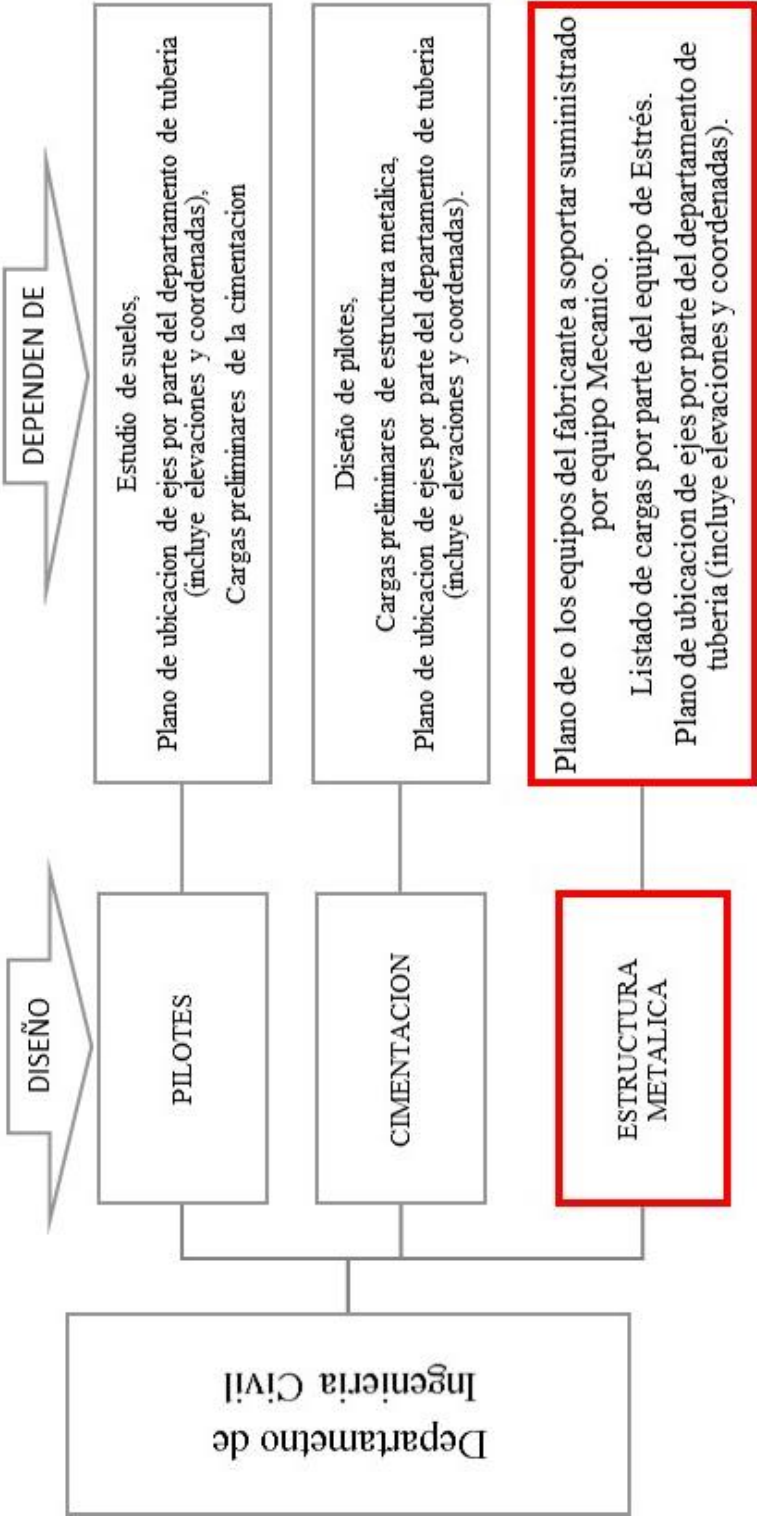
Desventajas de usar Tekla Structures

- Falta de instrumentos de modelado; lo que genera que sea muy difícil modelar estructuras con formas no estándar.
- Aplicación compleja con una muy interfaz abrumadora; toda la documentación basada en texto que no admite el autoaprendizaje.
- Pocos centros de entrenamiento profesional para aprender la aplicación.
- Su licencia es más costosa en comparación con otras aplicaciones BIM para ingeniería estructural.
- No se integra directamente con otras aplicaciones arquitectónicas y MEP.

12. APLICACIÓN A UN PROYECTO - FUNCIONES DEL DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

El departamento de obras civiles cuenta con profesionales idóneos con entrenamiento suficiente para realizar los diseños y cálculos estructurales, estos diseños dentro del departamento se dividen en tres ramas; los cuales son: diseño de cimentaciones profundas (pilotes, caissons etc.), fundaciones superficiales (zapatas, dados de cimentación, losas, etc.) y por último estructuras de edificaciones industriales ya sean en concreto reforzado, estructura metálica o mixta.

Figura. 12 Mapa de Funciones Dpto. de ingeniería Civil



Fuente: (Propia)

12.1 Ubicación del proyecto

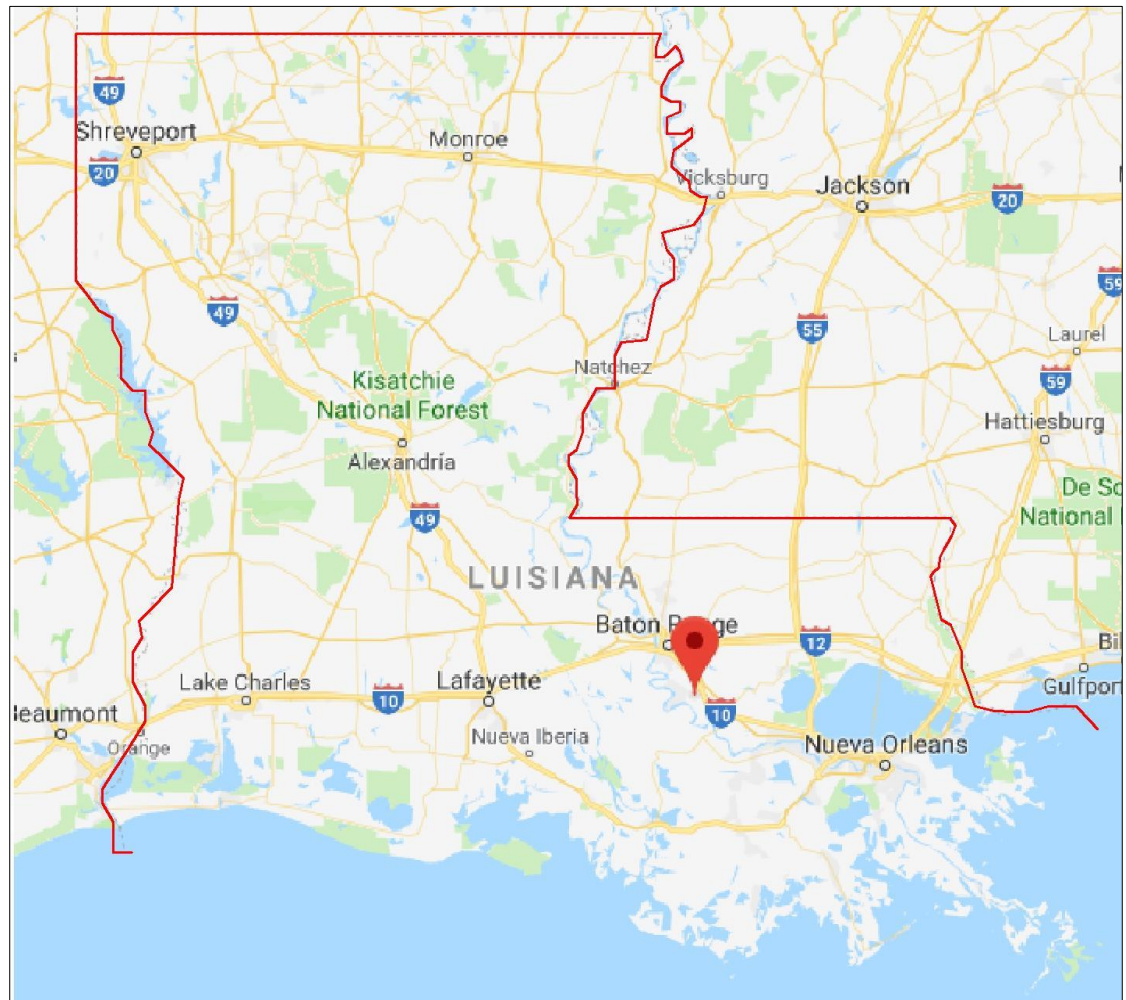
El proyecto en el cual se va a implementar la metodología BIM se encuentra ubicado al sureste de los Estados Unidos de América, en el estado de Luisiana, en la costa del golfo de México entre la ciudad de New Orleans y el río Mississippi.

Figura. 13 Ubicación General del proyecto en Estados Unidos de América



Fuente: Google Maps 8<https://goo.gl/maps/Lk2QiAdPR1m>).

Figura. 14 Ubicación Específica del proyecto en el estado de Luisiana



Fuente: Google Maps. (<https://goo.gl/maps/VYv4cccvCBH2>)

12.2 Descripción del proyecto

En Estados Unidos la empresa Huntsman otorga un contrato de suministro de hidrógeno y monóxido de carbono a la empresa Air Products, que a su vez subcontrata con el grupo technip representado con sus oficinas en Claremont, California, EE. UU. Y Bogotá Colombia (Tipiel S.A.), para la realización de una nueva instalación de hidrógeno en el pueblo de Geismar, Luisiana, en ese mismo país, para conectarse al oleoducto de hidrógeno y sistema de red más grande del mundo. También han firmado un acuerdo a largo plazo para construir, poseer y operar un nuevo reformador de metano a vapor y una caja fría. Las instalaciones de Air Products, que estarán en servicio en enero de 2020, suministrarán hidrógeno, monóxido de carbono (CO) y vapor.

La nueva instalación, producirá aproximadamente 6.5 millones de pies cúbicos estándar por día (MMSCFD) de CO, 50 MMSCFD de hidrógeno y hasta 50,000 libras por hora de vapor. También existe la posibilidad de expandir las instalaciones para aumentar el CO en el futuro para respaldar un crecimiento adicional.

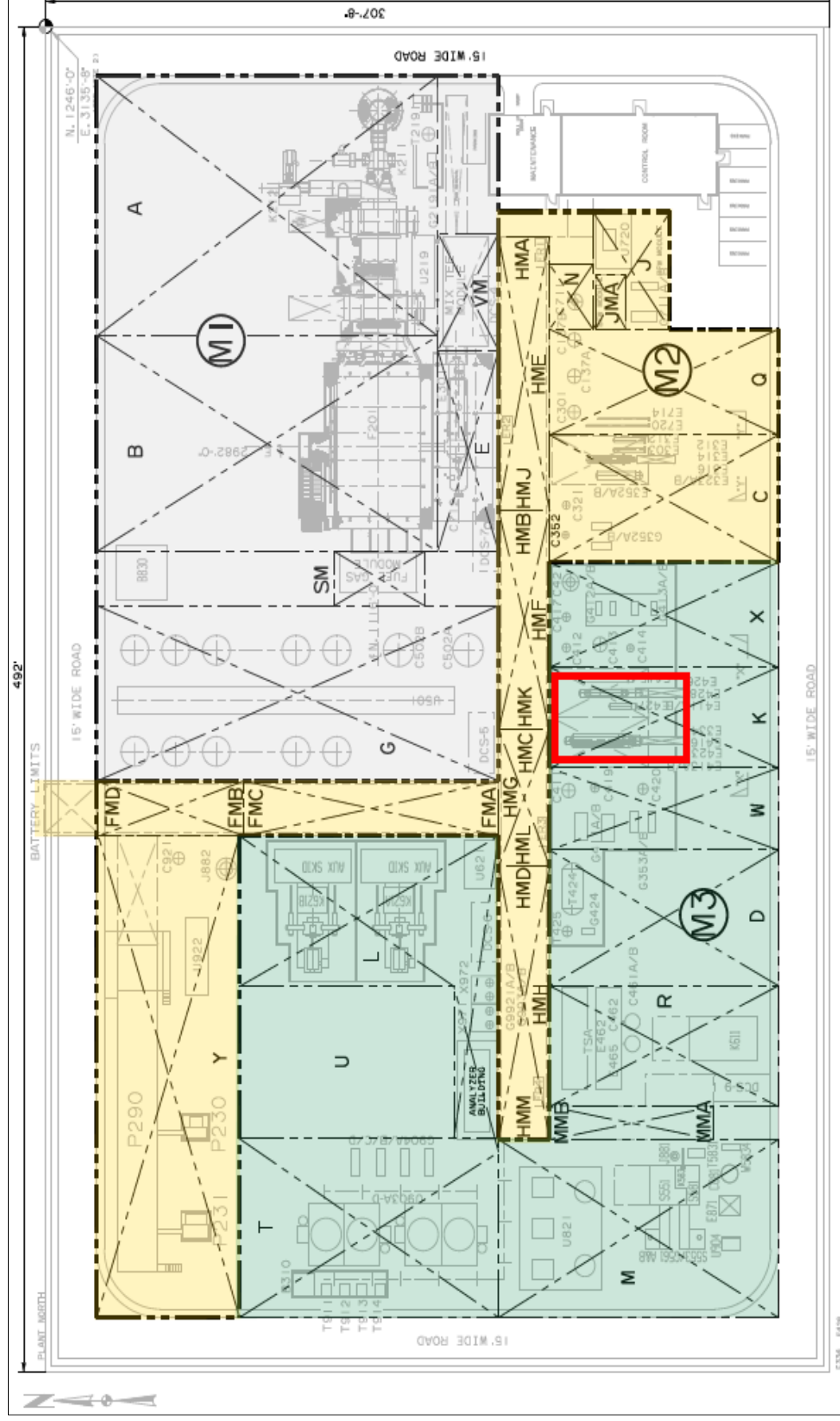
Más allá del suministro a las instalaciones de producción en Geismar, la nueva planta también estará conectada a un sistema de red y tuberías de hidrógeno en la Costa del Golfo de México, el tramo de tubería de 600 millas es el sistema de red de tuberías y plantas de hidrógeno más grande del mundo.

La compleja red se extiende desde Houston Ship Channel en Texas hasta New Orleans, Louisiana, y suministra a los clientes más de 1.4 mil millones de pies de hidrógeno por día de más de 22 instalaciones de producción de hidrógeno.²¹

12.3 Distribución del proyecto

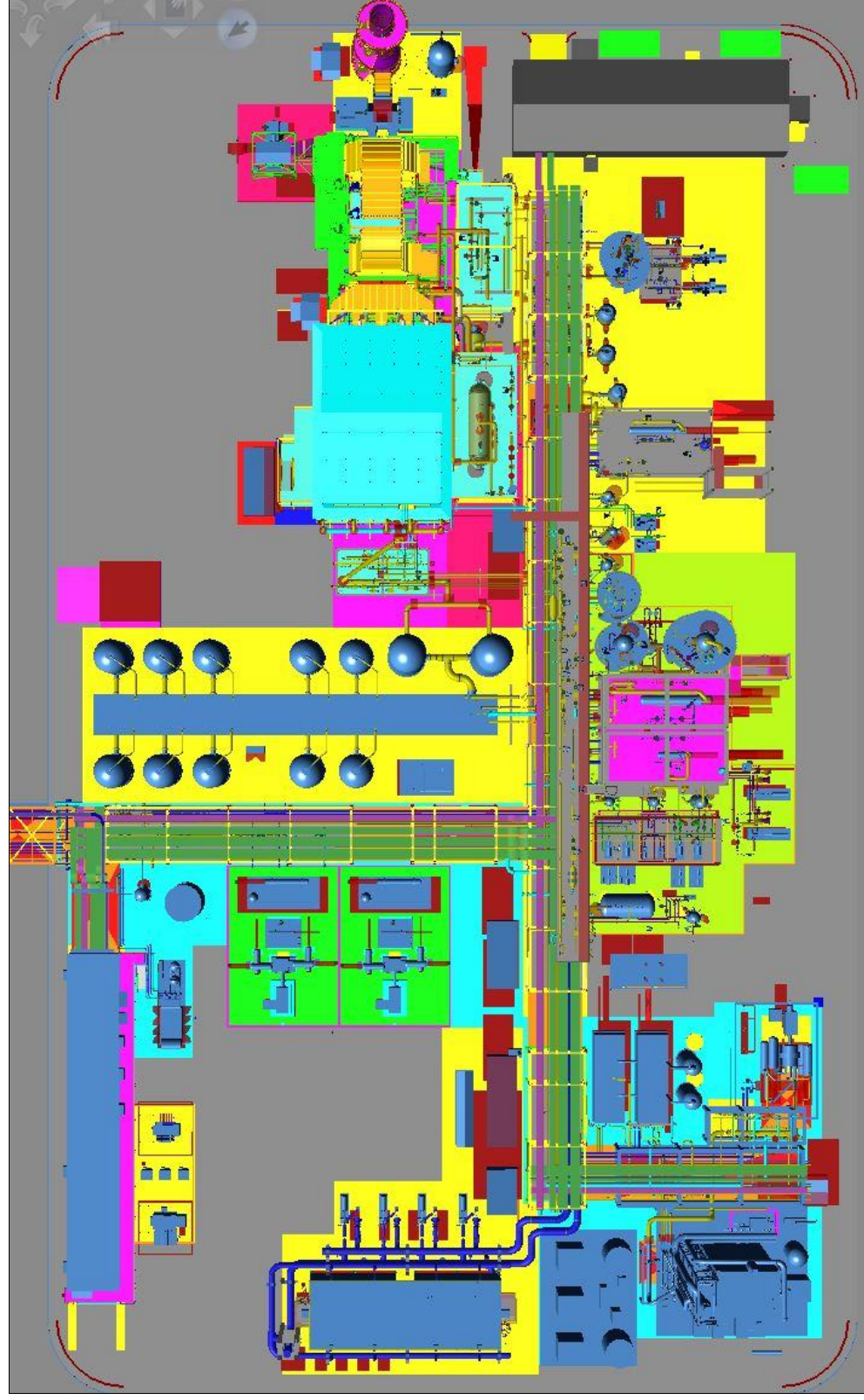
Como se indica en la descripción del proyecto, la planta de hidrogeno se está realizando por el grupo Technip con las oficinas de Claremont, Ca, EE. UU, y Bogotá Colombia. La planta está dividida en tres áreas M1 que pertenece a la oficina de Claremont el área M2 se realiza por las dos oficinas, la parte de cimentaciones pertenece a Tipiel S.A. y la parte de estructuras pertenece a la oficina de Claremont, y el área M3 pertenece a Tipiel S.A. (para más claridad ver figura 15).

Figura. 15 Distribución de planta de hidrogeno



Fuente:(Proyecto Geismar)

Figura. 16 modelación 3D todas las disciplinas de planta de hidrogeno



Fuente: (Proyecto Geismar)

12.4 Métodos de producción de hidrógeno

Para tener un mejor entendimiento del proyecto es necesario especificar el tema del tamaño de la planta de hidrógeno, por lo anterior se realizará un breve recuento de cómo funciona los procesos de producción de una planta de hidrógeno estándar y cuál es el método utilizado en esta planta en la cual se está realizando esta investigación.

El hidrógeno no es una fuente primaria de energía ya que no se encuentra libre en la naturaleza y no es directamente aprovechable, más bien es un vector energético es decir un portador de energía. Hay que producir el hidrógeno a partir de energías primarias, hoy en día aproximadamente el 96% del hidrógeno se obtiene a partir de combustibles fósiles, el hidrógeno tiene una densidad energética en masa tres veces superior a la de la gasolina.

Desde el punto de vista energético es el uso del hidrógeno como vector energético, pero hay que tener en cuenta que el hidrógeno se usa en la industria desde hace tiempo y actualmente hay métodos de producción que se están usando con energías limpias.

Existen métodos de producción según el proceso entre ellos encontramos:

- Método reformado o reformado con vapor
- Método oxidación parcial
- Método reformado autotérmico
- Método reformado con plasma
- Métodos biológicos (fotobiológicos digestión anaeróbica microorganismos fermentativos)
- Métodos electrolíticos (electrólisis foto electroquímico y método foto conversión)
- Otros métodos (termo química, método gasificación, método pirólisis, y método proceso de Kvaerner).

Para el caso de la planta en estudio, ésta utiliza el método reformado o reformado con vapor ya que es el más utilizado en la industria.

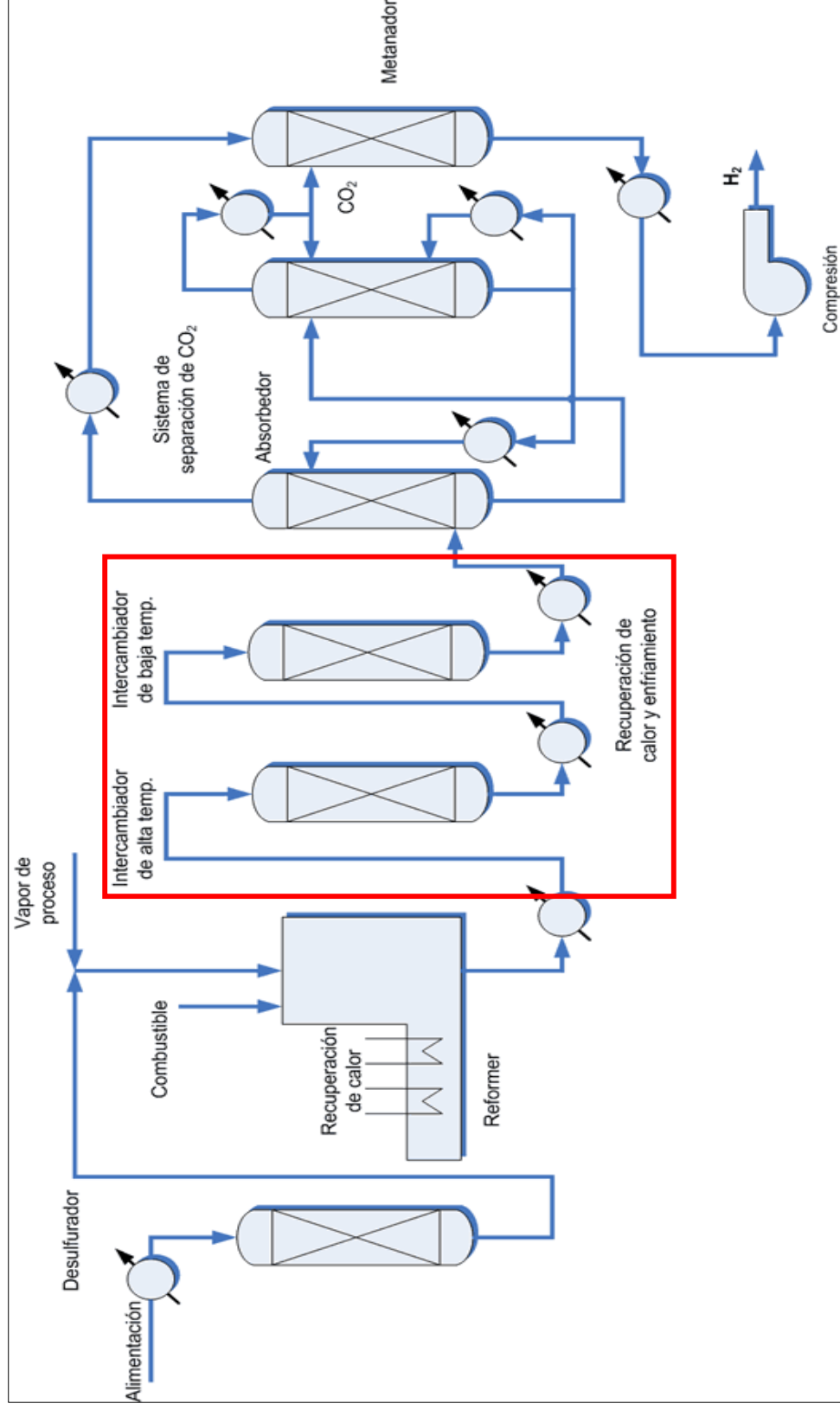
el método de reformado con vapor tiene como particularidad que se produce en dos etapas la primera de ellas es con aporte de calor y vapor

de agua a los hidrocarburos y esta etapa produce la reacción en la cual se genera el monóxido de carbono e hidrógeno posteriormente en una segunda etapa el estado de carbono nuevamente tratado con vapor de agua y un aporte calorífico produce lo que se denomina en la industria del gas de síntesis o syngas; $\text{CO}_2 + \text{H}_2$, en el caso de querer utilizar este hidrógeno como vector energético se tendría el inconveniente añadido de capturar ese CO_2 . la ventaja de este proceso, que dentro de los métodos es el más económico en cuanto a la energía que necesita y en cuanto a proceso industrial es el más usado, y eso le juega a favor porque es el más probado. las desventajas o los inconvenientes es que usa combustibles de tipo fósil. ²³

En el siguiente grafico (figura 17) se observa cómo funciona la planta de hidrógeno en la cual se está realizando la investigación, y lo enmarcado en color rojo es el proceso al cual corresponde la estructura de estudio.

23. prof. URRÉJOLA, Santiago. "Química elemental - Métodos de Producción de Hidrógeno" video. Universidad de Vigo. {En línea}.

Figura. 17 Esquema proceso de producción de hidrogeno



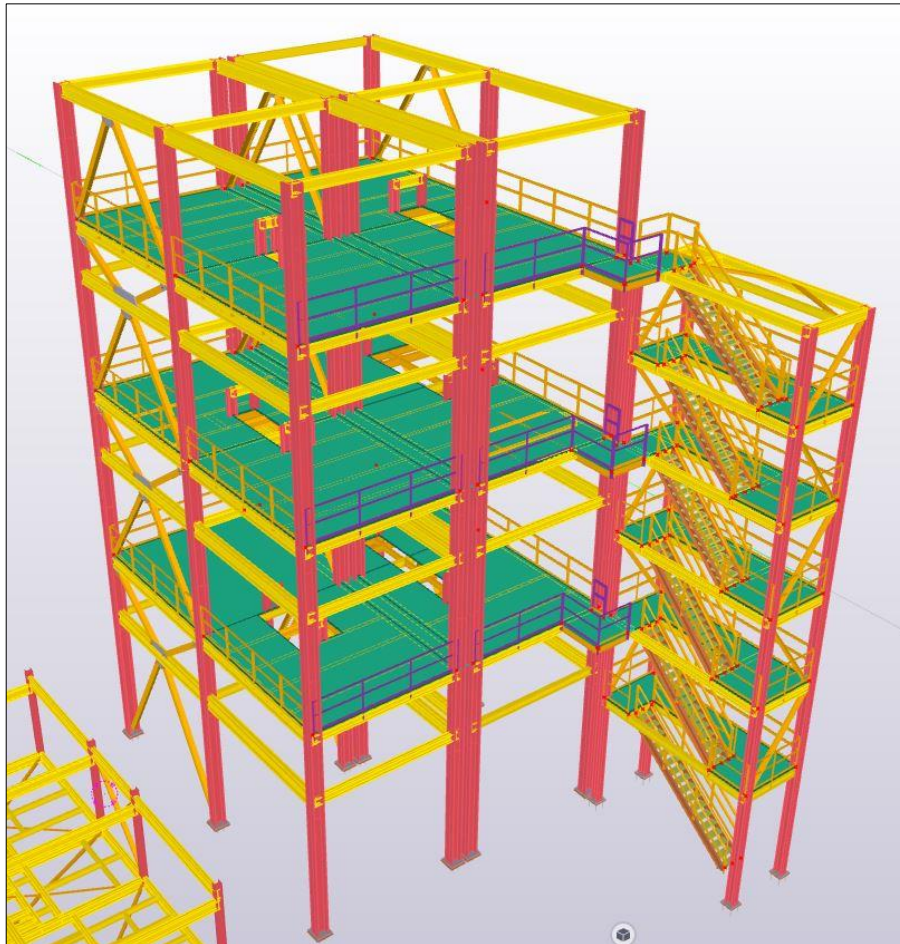
Fuente:(textoscientificos.com)

12.5 Estructura de estudio

La estructura a la cual se le realiza el estudio es una estructura de las más importantes, ya que es la primera a la que se le hacen estudios a nivel químicos y a nivel constructivos por su complejidad en la construcción de los equipos.

La estructura tiene como nombre general “estructura de proceso” y se encuentra ubicada en el área M3 ver figura 15 (perteneciente totalmente a las oficinas de Bogotá) en la división K, la función de esta estructura es la de soportar unos intercambiadores de alta temperatura y de baja temperatura pertenecientes a la etapa de recuperación de calor y enfriamiento (ver gráficos 16 y 17 procesos planta de hidrogeno).

Figura. 18 imagen modelo 3D estructura de proceso software Tekla Structures

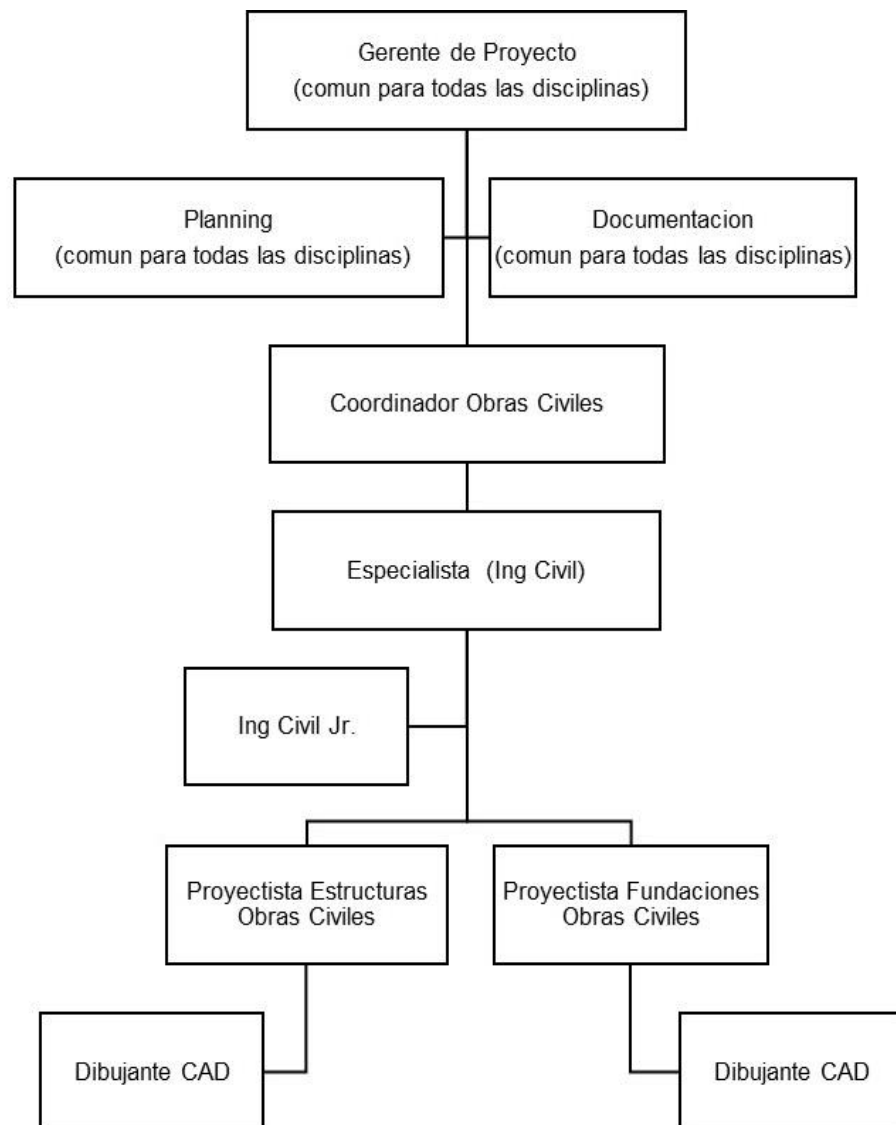


Fuente: propia

12.6 Organigrama profesional involucrados en el desarrollo del proyecto

Para la realización de este proyecto se cuenta con personal idóneo y capacitado al servicio de la empresa Tipiel S.A., y viendo desde el punto del departamento de obras civiles a continuación se presenta el organigrama donde se evidencian los profesionales involucrados.

Figura. 19 Organigrama departamento obras civiles



Fuente: propia

RESULTADOS

Después de realizar el proceso de modelado para una estructura del proyecto descrito en el capítulo anterior con la metodología BIM desde el programa Tekla Structures, y también utilizando la metodología CAD (modelado y planos) de la misma estructura creada en el programa AutoCAD, se presenta a continuación los resultados del objetivo principal de este trabajo de grado que consiste en hacer una comparación entre la implementación de una metodología BIM y una tradicional CAD, aplicada a una sólo estructura en este caso una estructura de proceso. Dicha comparación se realizó desde la perspectiva del departamento de obras civiles de la empresa Tipiel S.A. y por tal motivo se muestra un estimado de costos donde intervienen profesionales del departamento de obras civiles con salarios reales comparando las dos metodologías.

13. IMPLEMENTACIÓN METODOLOGÍAS BIM Y CAD A ESTRUCTURA DE PROCESO

La implementación de las metodologías BIM y la tradicional CAD, se ha dividido en 5 etapas que son: datos de entrada, desarrollo gráfico y modelado, información para revisión, emisión no oficial, emisión oficial de documento. Así mismo cada etapa cuenta con una serie de pasos que varían según la metodología de trabajo; también se expone que cargos intervienen para la realización de la estructura y las horas hombre empleadas en la misma.

Tabla 1 Pasos con metodología BIM para realización de estructura de proceso

ETAPAS	PASOS BIM	CARGO	H/H
A. DATOS DE ENTRADA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Definir la cimentación (fundación y pilotes) mediante un modelo en software de cálculo STAAD Pro. 2. Crear una estructura metálica según especificaciones (ver Entradas en figura 10) en software de cálculo STAAD Pro. 3. Definir tipo de conexiones en la estructura. 	Especialista (ingeniero civil)	34.0
B. DESARROLLO GRÁFICOS Y MODELADO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Importar modelo de STAAD Pro. y ubicarlo en las coordenadas correctas. 2. Organizar perfilería de la estructura y asignar layers a los elementos estructurales. 3. Generación de conexiones en modelo 3D según estándares de construcción. 4. Generación de plantas y elevaciones. 5. Edición de planos en 2D. 6. Impresión en formato pdf para comentarios. 	Proyectista Estructuras Obras Civiles	51.0
C. INFORMACIÓN PARA REVISIÓN	<ol style="list-style-type: none"> 1. Si hay correcciones por realizar entonces regresar a paso 3 de la etapa B. 	Especialista (ing. Civil)	4.0
	<ol style="list-style-type: none"> 2. Si no hay correcciones exportar modelo 3D desde Tekla Structures a maqueta general para ser estudiada por las otras disciplinas. 	Proyectista Estructuras Obras Civiles	2.0
D. EMISIÓN NO OFICIAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. Si hay correcciones por realizar entonces regresar a la etapa C. 	Especialistas otras disciplinas	8.5
	<ol style="list-style-type: none"> 2. Si no hay correcciones realizar informe extraído del modelo Tekla Structures con cantidades de obra y reportes para la obra. 	Proyectista Estructuras Obras Civiles	2.5
E. EMISIÓN OFICIAL DE DOCUMENTO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Impresión de planos de construcción en formato pdf firmado por los involucrados en el mismo (especialista, proyectista, gerente de proyecto). 	Proyectista Estructuras Obras Civiles	0.5
	<ol style="list-style-type: none"> 2. Documentación sube al servidor del proyecto el documento final. 	Auxiliar en documentación	0.5
TOTAL, HORAS			100.5

Fuente: propia

Tabla 2 Pasos con metodología CAD para realización de estructura de proceso

ETAPAS	PASOS CAD	CARGO	H/H
A. DATOS DE ENTRADA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dibujar esquema de cimentaciones 2. Impresión con vistas del programa STAAD Pro. Con el esquema de la estructura metálica. 3. Definir tipo de conexiones en la estructura. 	Especialista (ingeniero civil)	36.0
B. DESARROLLO GRÁFICOS Y MODELADO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Localizar las coordenadas correctas en AutoCAD. 2. Dibujar vistas de plantas y alzados. 3. Verificar conexiones en catálogo de los estándares de la compañía. 4. Dibujar conexiones metálicas. 5. Impresión en formato pdf para comentarios. 	Proyectista Estructuras Obras Civiles	93.5
C. INFORMACIÓN PARA REVISIÓN	<ol style="list-style-type: none"> 1. Si hay correcciones por realizar entonces regresar a paso 2 de la etapa B. 	Especialista (ing. Civil)	4.0
	<ol style="list-style-type: none"> 2. Si no hay correcciones <ul style="list-style-type: none"> • Modelar modelo en AutoCAD 3D. • Exportar modelo 3D desde AutoCAD 3D a maqueta general para ser estudiada por las otras disciplinas. 	Proyectista Estructuras Obras Civiles	34.0
D. EMISIÓN NO OFICIAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. Si hay correcciones por realizar entonces regresar a la etapa B. 	Especialistas otras disciplinas	8.5
	<ol style="list-style-type: none"> 2. Si no hay correcciones <ul style="list-style-type: none"> • Imprimir planos desde AutoCAD para realizar cantidades de obra. 	Proyectista Estructuras Obras Civiles	0.5
	<ul style="list-style-type: none"> • Estudiar planos para obtener cantidades de obra. • Realizar cuadro de Excel con cantidades de obra. • Revisar concordancia planos vs cantidades de obra. 	Especialista (ingeniero civil)	17.0
E. EMISIÓN OFICIAL DE DOCUMENTO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Impresión de planos de construcción en formato pdf firmado por los involucrados en el mismo (especialista, proyectista, gerente de proyecto). 	Proyectista Estructuras Obras Civiles	0.5
	<ol style="list-style-type: none"> 2. Documentación sube al servidor del proyecto el documento final. 	Auxiliar en documentación	0.5
TOTAL, HORAS			194.5

Fuente: propia

Tabla 3 Tabla de prestaciones vs horas hombre / salario con metodología BIM

Cudro de prestaciones	Salario	Salario por hora	Horas de Dedicación	Salario x Horas de Dedicación
Profesional 1 Especialista Ingeniero Civil	\$ 3.900.000	\$ 16.250	38,0	\$ 617.500
Profesionales otras disciplinas (electricos, tuberia, equipos, procesos, obras civiles, Planning, Direccion de proyecto)*	\$ 30.700.000	\$ 127.917	8,50	\$ 1.087.292
Profesional 2 Proyectista Estructuras Obras Civiles	\$ 2.900.000	\$ 12.083	78,5	\$ 948.542
Tecnico Auxiliar en documentacion	\$ 781.242	\$ 3.255	0,50	\$ 1.628
				\$ 2.654.961

* Junta que se realiza con todas las especialidades para revisar interferencias y tomar decisiones con respecto a los impactos y movimientos que se necesiten ejecutar en la planta

Fuente: propia

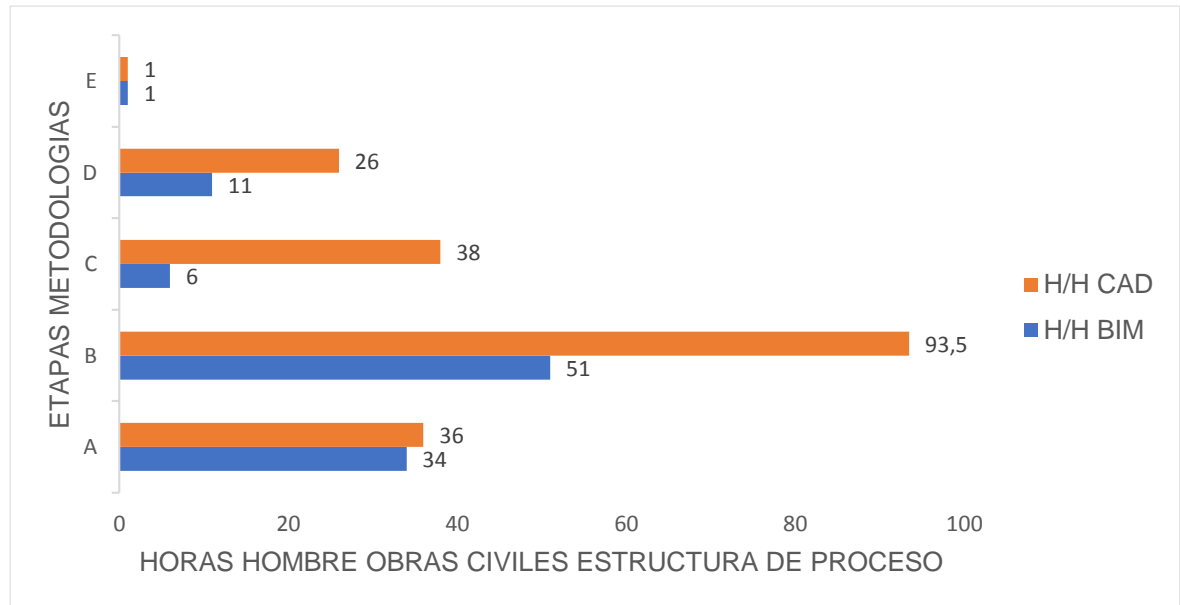
Tabla 4 Tabla de prestaciones vs horas hombre / salario con metodología tradicional CAD

Cudro de prestaciones	Salario	Salario por hora	Horas de Dedicación	Salario x Horas de Dedicación
Profesional 1 Especialista Ingeniero Civil	\$ 3.900.000	\$ 16.250	57,00	\$ 926.250
Profesionales otras disciplinas (electricos, tuberia, equipos, procesos, obras civiles, Planning, Direccion de proyecto)*	\$ 30.700.000	\$ 127.917	8,50	\$ 1.087.292
Profesional 2 Proyectista Estructuras Obras Civiles	\$ 2.900.000	\$ 12.083	128,00	\$ 1.546.667
Tecnico Auxiliar en documentacion	\$ 781.242	\$ 3.255	0,50	\$ 1.628
				\$ 3.560.208

* Junta que se realiza con todas las especialidades para revisar interferencias y tomar decisiones con respecto a los impactos y movimientos que se necesiten ejecutar en la planta

Fuente: propia

Figura. 20 Comparación de horas hombre por etapas de los procesos con las metodologías BIM y tradicional CAD



Fuente: propia

14. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Todos los comentarios que a continuación se expondrán, están basados en la experiencia de haber comparado la metodología tradicional CAD vs la metodología BIM para una estructura de proceso descrita en el numeral 2.6.2.3 en la que participan los profesionales descritos en el numeral 2.6.4.2

- En la etapa A del procedimiento con la metodología BIM, el proyectista de obras civiles no modela la estructura principal ya que el modelo lo hace el ingeniero en el software de cálculo, por ende, cualquier anomalía o interferencia en la estructura viene desde el propio modelo de cálculo y no del software BIM (Tekla Structures). Si existiera una interferencia se tendrían que modificar en ambos modelos y así corregir el problema, es decir que la no automatización de un sólo modelo puede generar inconvenientes en el diseño.
- Las conexiones de la estructura metálica, son calculadas por el ingeniero, y son basadas en un catálogo de estándares de conexiones, lo cual trae implicaciones para la modelación de la estructura en la metodología CAD, ya que estas conexiones no son modeladas por la cantidad de detalle y la

demanda de tiempo por tal motivo no se puede saber si van a causar interferencia con las otras disciplinas.

- El software Tekla Structures, tiene estandarizado las conexiones igual al catálogo de conexiones del proyecto y de las normas sismorresistentes norte americano.
- Los informes extraídos de Tekla Structures, son plantillas programadas por el proyectista líder para tener la información justa y necesaria en cuanto a cantidades de obras.
- En la etapa A de la metodología CAD, es necesario dibujar la cimentación previamente ya que a la estructura metálica se le diseña la conexión de placa base, en cambio la metodología BIM basta con tener un volumen que asemeje a la cimentación.
- Para dibujar la estructura metálica con la metodología CAD el ingeniero tiene que valerse de pantallazos provenientes del software de cálculo o esquemas hechos a mano alzada para que el proyectista pueda hacer su respectivo trabajo, dando paso a que se cometan errores tanto de interpretación como digitación.
- Al momento de obtener las cantidades de obra con la metodología tradicional, hay que volver a revisar los planos para verificar que la información digitalizada en las macros de Excel sea la correcta, ésto genera muchas veces confusión en la información que se obtiene y también causa reprocesos.

15. PROPUESTA DE MEJORA

El objetivo de este capítulo es dar a conocer una propuesta de mejora en cuanto a los procesos a la hora de realizar los diseños estructurales y los entregables de los mismos, que se llevan a cabo en la compañía y más específicamente en el departamento de obras civiles con el fin de optimizar un poco más los rendimientos aplicados a cualquiera de las dos metodologías (la tradicional CAD y la metodología BIM).

16. POLÍTICAS

La empresa en cuanto a política se refiere es muy clara y es la de optimizar en la forma de diseño de las estructuras, tanto en dibujo y en el cálculo de las mismas y así evitar el reproceso en el trabajo.

16.1 Metodología CAD

La metodología tradicional CAD, cuenta con unos estándares de dibujo y bases de datos para los cálculos de las estructuras, que son efectivos y que han sido probado por muchos años en la compañía y funcionan, pero en la actualidad estos estándares están quedando rezagados porque cada vez los proyectos son más complejos y los tiempos de ejecución de los mismos son más cortos, dejando atrás este tipo de metodología debido al tiempo y recursos que se tienen que emplear para lograr un diseño como se puede observar en los resultados obtenidos. Para evitar estos reprocesos y demoras la compañía debe ser un poco más flexible en cuando a su política en la forma de trabajo y dejar que se modifique un poco los procesos para esta metodología.

16.2 Metodología BIM

La compañía cuenta con políticas ya establecidas como se expone en el numeral 3.1.1, que no son compatibles con la nueva metodología BIM, por tal motivo la empresa tiene que hacer un cambio en la política de trabajo para esta metodología, y hacer un reenfoque del mismo, actualmente está usando una mezcla de ambas metodologías, pero muchas veces no es muy claro para los recursos involucrados

qué camino se está tomando al momento de realizar los diseños de las estructuras en los proyectos.

17. LOS PROCESOS

17.1 Metodología CAD

Actualmente la metodología tradicional CAD, está muy clara en el departamento de obras civiles y los profesionales involucrados están entrenados en esta metodología, eso implica que sea muy fácil seguir con ésta en la forma de trabajo, pero estos procesos están abarcando más tiempo del que realmente se dispone en los proyectos y está haciendo que entren en un sobre costo en cuanto a horas hombre se requieren. La empresa debe recortar los pasos que hay en las etapas B y C de esta metodología, no dejar todo en manos del proyectista y cuando el diseño salga de los softwares de cálculo deberían llegar más completos a los softwares de dibujo.

17.2 Metodología BIM

Los procesos con esta metodología no están muy claros en la empresa, como se describe anteriormente hay una mezcla de la metodología CAD y la metodología BIM, el problema consiste en que los recursos desconocen la forma con se trabaja en un software para el desarrollo de los diseños bajo la metodología BIM y piensan que se maneja igual que las metodologías CAD y por eso hacen mal uso del mismo, esto afecta los procesos con esta herramienta. La empresa debe emplear más horas de capacitación no en la operación del programa Tekla Structures, sino en la forma de trabajo y como se emplea este software recordando que no es simplemente operar un software 3D, sino que hay que alimentar una base de datos unida a un servidor.

18. LAS HERRAMIENTAS

La empresa y el grupo como tal cuenta con herramientas de última tecnología, siempre con las versiones más recientes de los fabricantes de softwares, también con el número suficiente de licencias y permisos para operar estos programas; también disponen de unos servidores potentes y una red rápida y efectiva. Los profesionales poseen equipos o terminales de gran capacidad para poder llevar a cabo estas tareas que con un computador convencional no se podrían realizar el desarrollo de proyectos bajo la metodología BIM. Se puede decir que en este aspecto la empresa cuenta con una oportunidad de mejora a largo plazo.

19. ENTREGABLES

Tipiel S.A. se caracteriza por realizar productos de alta calidad debido a los estándares con los que trabaja, por tratarse de una empresa que pertenece a un grupo tan grande y reconocido a nivel mundial, los estándares de calidad y los controles son muy extensos y rigurosos; no importa la metodología que se escoja para trabajar los controles y verificaciones siempre serán estrictos para garantizar el producto final. Se podría mejorar en cuanto a que las personas encargadas de los controles se les haga una correcta distribución del trabajo a realizar sin hacer una saturación, ya que en ocasiones se presentan congestiones en esa fase del proceso de trabajo.

20. BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN BIM

Como se observa en los resultados obtenidos, los beneficios de la implementación principalmente se encuentran en el tiempo de ejecución de los diseños, en la previsión de los modelos antes de interactuar con las demás disciplinas, donde se ahorra tiempo en cuanto a controles y revisiones como se puede observar en la figura número 11, en los entregables 2D (planos) ya que son una copia fiel de lo que está modelado, en la obtención de informes y cantidades de obra como se evidencia en la figura número 20 “comparación de horas hombre”, entre otras. Lo importante de un modelo BIM, más allá de su modelo 3D, es la información con que se alimenta ese modelo, lo cual es clave para la ejecución un buen proyecto.

CONCLUSIONES

Al desarrollar este trabajo de investigación, se ha logrado cumplir con los objetivos propuestos. Al llegar a este punto del trabajo nos encontramos en un escenario donde se pueden dar respuestas a las preguntas que se han planteado previamente y así poder presentar unas conclusiones que son resultado de un análisis que fue teórico y práctico.

En cuanto a la metodología BIM podemos decir que ésta es más eficiente que la metodología tradicional CAD según los resultados obtenidos debido a que:

- Los tiempos y recursos empleados en el diseño de las estructuras son mucho menores, generando un ahorro en tiempo y costos para la empresa.
- La metodología y el software BIM permite anticiparse a todos los conflictos que se pudieran tener entre disciplinas en el modelo virtual y así poder solucionar algunos problemas que se puedan presentar en la fase de construcción.
- La información siempre estará actualizada debido a que es un único modelo al cual se va alimentando constantemente, así mismo esta información está al alcance de todos facilitando el trabajo en equipo.
- Por tratarse de un modelo 3D, los involucrados en el diseño y las personas que no lo están, tienen un entendimiento mucho más claro, esto facilita la relación y comunicación con los clientes.

Siguiendo con la metodología BIM también se puede decir que para esta implementación hace falta más que un software o personas que operen un software 3D, se necesitan:

- Horas de entrenamiento o capacitación del personal, se deben prever los costos para comprar las licencias y el pago de los honorarios de un profesional especializado, cabe mencionar que para el software Tekla Structure y es poco comercial esto quiere decir que no se encuentran con facilidad y los instructores muchas veces son extranjeros.
- Concientizar a las personas, cambiarles la forma de pensar y hacerles ver que es una metodología muy diferente a la que la industria de la ingeniería está acostumbrada en Colombia.

- Antes de poner en operación la metodología BIM, hay que definir de forma clara los procesos de trabajo, ya sea adaptando los actuales procesos o cambiando radicalmente la política de trabajo ya establecida.
- Se debe hacer un análisis financiero para los proyectos que sean desarrollados bajo esta metodología ya que se debe revisar la reinversión del costo de las licencias y el tiempo de retorno de la inversión.
- Tener paciencia porque muchas veces las implementaciones de estas metodologías no generan ganancias en el primer proyecto, ya que en ocasiones las curvas de aprendizaje son muy largas.

Volcándonos a la metodología tradicional CAD podemos decir que:

- Es una metodología ya probada y testeada en muchos proyectos, por lo cual se tiene el suficiente conocimiento para poder solucionar todos los problemas que se generen en la ejecución del proyecto.
- La curva de aprendizaje es mucho menor por lo que algunas tareas son más fáciles de realizar.
- El personal capacitado es más fácil de conseguir en el mercado y a un menor costo por tratarse de una metodología común en la mayoría de empresas del país.
- El personal tiene más conocimiento sobre los softwares y los procesos que deben tomar al realizar los diseños.
- Las licencias de los programas son más económicas lo que posibilita emplear más personas en los proyectos.

Basándonos en los resultados obtenidos con la metodología CAD se puede decir que:

- Los tiempos de entrega son mucho mayores y generan mayor costo al proyecto.
- El reproceso de trabajo es arduo lo cual emplea muchos más recursos al momento de realizar un diseño.

- Debido a que existe un reproceso grande, es posible que se duplique la información generando incoherencia entre los documentos esto puede dar como resultado varios errores de carácter antrópico.
- Por tratarse de información independiente el contenido de los mismo estará en muchas ocasiones desactualizadas.
- En las etapas tempranas del diseño, por tratarse de sólo información en 2D no se facilita el entendimiento de la estructura y se puede omitir información importante que sólo se evidencia en etapas muy avanzadas del diseño, produciendo un reproceso y un trabajo más largo.

BIBLIOGRAFÍA

¿Qué es BIM? Equipo Fundación Laboral de La Construcción. [Consulta 1-10-2017]
Disponible en: <http://www.entornobim.org/entorno-bim/que-es-bim>
15(4), 203-223.

ALARCÓN Luis F. y MARDONES, D. A. [en línea]. Improving the design-construction interface, Proceedings. Update: April, 2005 [13-09-2017] Formato en pdf, 1.5 MB. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212567115001720#bbib0010> IGLC.

ALCÁNTARA Paul V. Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basada en la construcción virtual usando tecnologías BIM. [en línea]. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2013. Ingeniería Civil [Consulta:10-10-2017]. Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3760>.

AMBROSIO Federico. “Normativa BIM para obras públicas en el Reino Unido”. En: Diario el Clarín. [en línea] 9 de marzo de 2015 [Consulta 4-9-2017] Disponible en: https://www.clarin.com/arquitectura/normativa-bim-obras-publicas_0_Hy2BQ9wXI.html.

AZHAR S. Hein, M. y SKETO, B. “Building Information Modeling: Benefits, Risks And Challenges”. En: Proceedings Of The 44th Asc National Conference, Auburn, Alabama, USA. 07 abril 2009 [consulta: 03-10-2017]. Disponible en: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29LM.1943-5630.0000127>.

BIM for the Building Lifecycle. Autodesk®, 2012 [Consulta 4-10-2017]. Disponible en: <https://www.autodesk.com/solutions/bim/hub/the-business-benefits-of-bim-for-owners>.

BECK, Katherina. “¿Qué es BIM exactamente?” {en línea}. {01 julio de 2015} [Consulta 15-05-2018] Disponible en: <http://lereseau.groupeagf.com/fr/articles/Que-es-BIM-exactamente/>

BIOTTO, C., FORMOSO, C., & ISSATO, E. (2015). Uso de modelagem 4D e Building Information Modeling na gestão de sistemas de produção em empreendimentos de construção. Ambiente Construído, 15(2), 79-96.

Brief History of BIM. Archdaily.com. [Consulta 9-10-2017] Disponible en:

<http://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim>.

BRITO, D., & FERREIRA, E. (2015). Avaliação de estratégias para representação e análise do planejamento e controle de obras utilizando modelos BIM 4D. Ambiente Construído.

BRYDE, D., BROQUETAS, M., & MARC Volm, J. (2013). The project benefits of Building Information. International Journal of Project Management, 971-980.

CASTILLO Gabriel. "¿Qué es BIM?". En: Autodesk knowledge network. 6 de septiembre de 2016. [consulta 05-10-2017]. Disponible en: <https://knowledge.autodesk.com/es/support/navisworks-products/learn-explore/caas/simplecontent/content/-C2-BFqu-C3-A9-es-bim.html>

CHAPMAN, Gary. "Huntsman Awards Carbon Monoxide and Hydrogen Supply Contract to Air Products" {En línea}. {17.julio.2017} Disponible en: <http://www.airproducts.com/Company/news-center/2017/07/0717-huntsman-awards-carbon-monoxide-and-hydrogen-supply-contract-to-air-products.aspx>
Ciclo de vida del proyecto. Consulting & Construction, 2016 [Consulta 4-10-2017] Disponible en: <http://consulting.construction/servicios/consultoria/bim-consulting/>.

COLOMA PICÓ Eloi. (2008). Introducción a la teoría BIM. [en línea]. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. Geometría Descriptiva. [consulta: 03-10-2017]. ISBN:978-84-95249-44-9. Disponible en: https://issuu.com/mig-180/docs/introducci__n_a_la_tecnolog__a_bim.

Diferencia entre 3D y BIM. Idicom Sas Ingeniería + BIM Construcción. [Consulta 1-10-2017] Disponible en: <http://www.idicom.com.co/>.

EASTMAN, Charles.M. Building Product Models: Computer Environments, Supporting Design and Construction. Florida 1999. Architecture and Engineering [consulta: 10-10-2017]. ISBN-13: 978-0849302596. Disponible en: <http://eislabs.gatech.edu/courses/me6754/resources/1999-eastman/eastman1.pdf>.

ELLIOT D. Level of detail and model progression specification. En: Constructible.trimble.com [en línea] 10 de abril de 2017 [Consulta 4-9-2017] Disponible en: http://www.trimbleextensions.com/i_i/industryinsights/level-of-detail-and-model-progression-specification/.

ERIKSSON, Thomas. "Tekla en el mundo". {En línea}. {10 diciembre de 2017} disponible en: (<http://www.construsoft.es/productos-bim/tekla-structures/>).

GONZALES, Angelica. "El BIM en latinoamerica". {En linea}. {22 febrero 2018}. [Consulta 15-05-2018] Disponible en: <https://editeca.com/bim-en-latinoamerica/>

HILDEBRANDT Gruppe "¿Que es Revit y para que sirve en el modelado BIM?" {En linea}. {29.abril.2015} disponible en: (<http://www.hildebrandt.cl/que-es-revit-y-para-que-sirve-en-el-modelado-bim/>).

HOWELL Ian y BATCHELER Bob. Building Information Modeling Two Years Later – Huge Potential, Some Success and Several Limitations. Update: May, 2016 [Consulta 04-09-2017] Formato en pdf, 3.8MB. Disponible en: http://www.laiserin.com/features/bim/newforma_bim.pdf.

JALAEI, F., & JRADE, A. (2015). Integrating building information modeling (BIM) and LEED system at the conceptual design stage of sustainable buildings. *Sustainable Cities and Society*, 18, 95-107.

JOHANSSON, M., ROUPÉ, M., & BOSCH-SIJTSEMA, P. (2015). Real-time visualization of building information models (BIM). *Automation in Construction*, 54, 69-82.

KEROSUO, H., MIETTINEN, R., PAAVOLA, S., Mäki, T., & Korpela, J. (2015). Challenges of the expansive use of Building Information Modeling (BIM) in construction projects. *Production*, 25(2), 289-297.

KIM, J. B., JEONG, W., CLAYTON, M., HABERL, J., & YAN, W. (2015). Developing a physical BIM library for building thermal energy simulation. *Automation in Construction*, 50, 16-28.

KWOK WAI WONG, J., & ZHOU, J. (2015). Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review. *Automation in Construction*, 57, 156-165.

LEE , Y.-C., EASTMAN, C., SOLIHIN, W., & See, R. (2016). Modularized rule-based validation of a BIM model pertaining to model views. *Automation in Construction*, 63, 1-11.

LIU, S., MENG, X., & TAM, C. (2015). Building information modeling based building design optimization for sustainability. *Energy and Buildings*, 105, 139-153.

Lu, W., Fung, A., Peng, Y., Liang, C., & Rowlinson, S. (2014). Cost-benefit analysis of Building Information Modeling implementation in building projects through

demystification of time-effort distribution curves. *Building and Environment*, 82, 317-327.

MARTENS, Bob & HERBERT Peter. (2004) "ArchiCAD: Best Practice: The Virtual Building™ Revealed" New York: Springer Science + Business Media. [consulta: 03-02-2018]. ISBN 1211-40755-3 Springer Wien NewYork

MEADATI, P., Irizarry, J., & AKNOUKH, A. (2011). BIM and Concrete Formwork Repository. In *Proc. of the 47th ASC Annual International Conference*, 1-8.

MIETTINEN, R., & PAAVOLA, S. (2014). Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling. *Automation in Construction*, 43, 84-91.

MITCHELL Williams. J. *Computer-Aided Design and the Architecture Student in the United States*. New York 1974. *Digital Design Media (Architecture)* [consulta: 10-10-2017]. ISBN-13: 978-0442019341 Disponible en: http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/Show?caadria2014_163.

MORALES, Bárbara. "El BIM en latinoamerica". {En línea}. {22 febrero 2018}. [Consulta 15-05-2018] Disponible en: <https://editeca.com/bim-en-latinoamerica/>

PORRAS DÍAZ H. "Metodología para la elaboración de modelos del proceso constructivo 5d con tecnologías". En: *Gerencia tecnológica informática* [en línea]. 11 de abril de 2014 [Consulta 09-09-2017] Disponible en: <http://revistas.uis.edu.co/index.php/revistagti/article/view/4869>.

PORRAS DÍAZ H. *Tecnologías. Building Information ModelingII en la elaboración de presupuestos de construcción de estructuras en concreto reforzado*. Update: Enero, 2015 [Consulta 09-09-2017] Formato en pdf, 2.8MB. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/entra/v11n1/v11n1a17.pdf>.

SALDÍAS, R. O. (2010). *Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM*. (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.

SHACKELFORD, Todd. "The History and Future of Revit MEP" {En línea}. {15 Enero de 2018} disponible en: (<https://www.augi.com/articles/detail/the-history-and-future-of-revit-mep>).

SINGH Ishveena. "BIM adoption and implementation around the world: Initiatives by major nations". En: *GeospatialWorld.net* [en línea]. 5 de abril de 2017 [Consulta 09-

10-2017] Disponible en: <https://www.geospatialworld.net/blogs/bim-adoption-around-the-world/>.

SLOWEY K. "BIM perception, use vary among construction team levels". En: ConstruDive [en línea]. 28 de julio de 2016 [Consulta 09-09-2017] Disponible en: <https://www.constructiondive.com/news/dodge-data-bim-perception-use-vary-among-construction-team-levels/423453/>.

SMITH, P. (2014). BIM Implementation- Global Strategies. Procedia Engineering, 482-492.

SMITH, P., RADUJKOVIĆ, M., VUKOMANOVIĆ, M., & Wagner, R. (2014). BIM & the 5D Project Cost Manager. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 119, 475-484.

SON, H., Lee, S., & KIM, C. (2015). What drives the adoption of building information modeling in design organizations? An empirical investigation of the antecedents affecting architects' behavioral intention. Automation in Construction, 49, 92-99.

SUCCAR B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. Update: octubre 2008. 2015 [Consulta 01-09-2017] Formato en pdf, 2.2MB. Disponible en: <http://isiarticles.com/bundles/Article/pre/pdf/68885.pdf>.

SYLVAN, Aaron C. "ArchiCAD Software Description" {En línea}. {17 Enero de 2018} disponible en:(<https://www.ithistory.org/db/software/graphisoft/archicad>).

TEXTOS CIENTIFICOS. "Proceso productivo del hidrógeno" {En línea}. Madrid: Textoscientificos.com {03.febrero.2018}. Disponible en: <https://www.textoscientificos.com/quimica/hidrogeno/produccion>.

URRÉJOLA, Santiago. "Química elemental - Métodos de Producción de Hidrógeno" video. {En línea} Vigo: Universidad de Vigo {08.septiembre.2017}. Disponible en: <http://tv.uvigo.es/gl/video/mm/9015.html>.

VOLK, R., STENGEL, J., & SCHULTMANN, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs. Automation in Construction, 109-127.

WANG, C., CHO, Y., & KIM, C. (2015). Automatic BIM component extraction from point clouds of existing buildings for sustainability applications. Automation in Construction, 56, 1-13.

What is BIM. NBS. [Consulta 3-10-2017] Disponible en: <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-building-information-modelling-bim>.

WOOK KANG, T., & HEE HONG, C. (2015). A study on software architecture for effective BIM/GIS-based facility management data integration. *Automation in Construction*, 54, 25-38.

ZHANG , S., TEIZER, J., PRADHANANGA, N., & EASTMAN , C. (2015). Workforce location tracking to model, visualize and analyze workspace requirements in building information models for construction safety planning. *Automation in Construction*, 60, 74-86.

ZHANG, S., SULANKIVI, K., KIVINIEMI, M., ROMO, I., EASTMAN, C., & TEIZER, J. (2015). BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning. *Safety Science*, 72, 31-45.

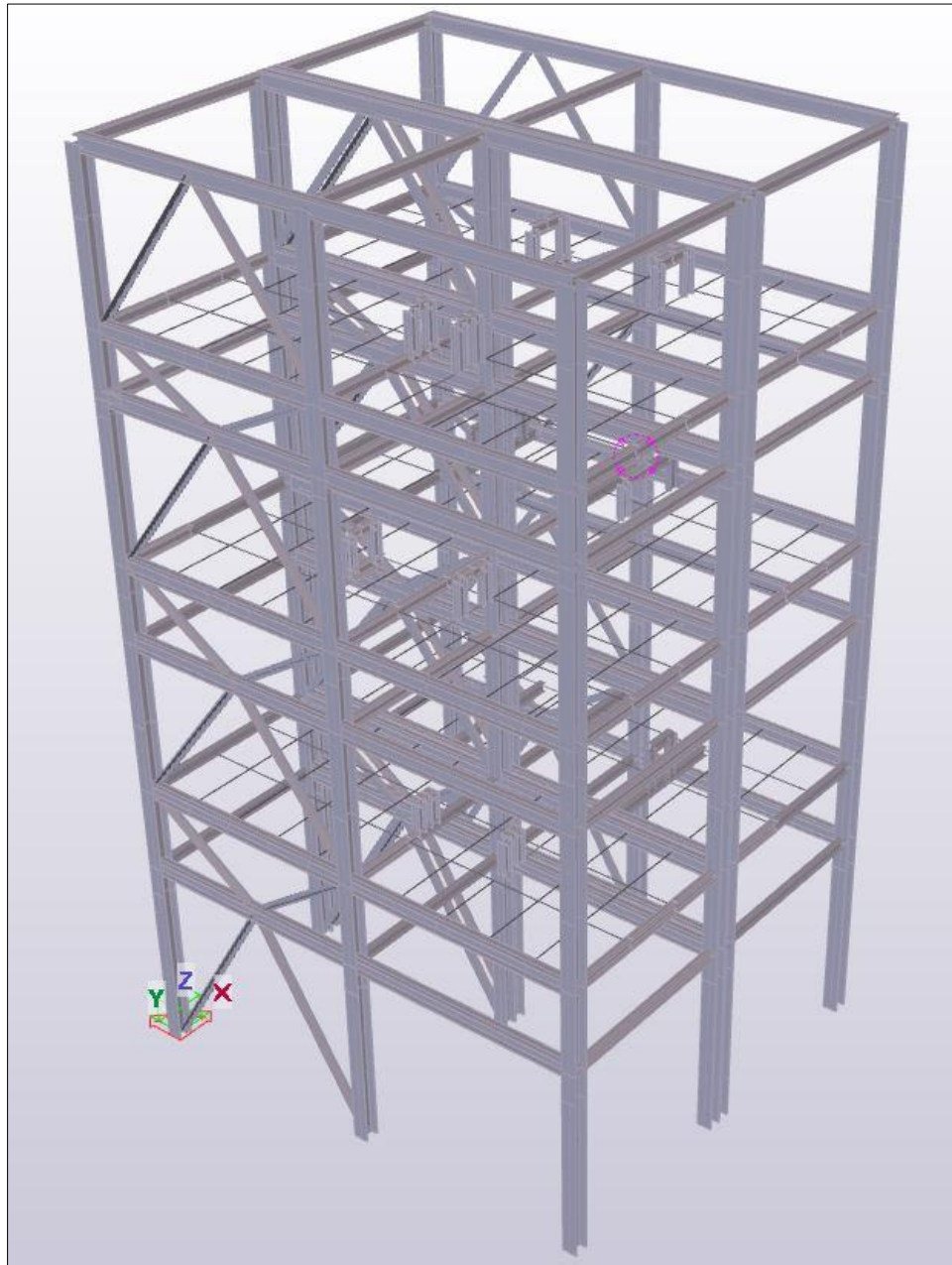
ANEXOS

Tabla 5 Tabla de reporte extraída desde Tekla Structures.

MATERIAL LIST (Enter PRELIM in Title3 to include the Prelim Marks)					
PROJECT NAME: PROJ-NAME			Date: 04/28/2018		
JOB NUMBER: PROJ-NUM			Time: 12:45:50pm		
Profile	Grade	Qty.	Length	Area (in2)	Page: 1 Weight (lbs)
TN200X200X8X13	A992	8	16'-9 9/16"	6348	369
TN200X200X8X13	A992	9	13'-9"	5197	302
TN200X200X8X13	A992	14	13'-9 5/8"	5217	304
TN200X200X8X13	A992	1	13'-6 11/16"	5125	298
TN200X200X8X13	A992	8	8'-10 1/16"	3340	194
TN200X200X8X13	A992	8	8'-2 5/8"	3106	181
TN200X200X8X13	A992	6	6'-10 1/4"	2590	151
TN200X200X8X13	A992	2	6'-9 1/8"	2556	149
Total for: TN200X200X8X13			655'-11 7/8"	247932	14426
TN150X150X6.5X9	A992	2	10'-8 11/16"	3045	132
TN150X150X6.5X9	A992	4	10'-3 3/8"	2919	127
TN150X150X6.5X9	A992	2	9'-10 1/16"	2794	121
TN150X150X6.5X9	A992	2	9'-6 9/16"	2710	118
Total for: TN150X150X6.5X9			101'-4 1/16"	28774	1250
PL1 1/4"X192"	Grating	1	18'-11 7/16"	88375	2779
PL1 1/4"X192"	Grating	11	18'-11 1/2"	86748	2724
Total for: PL1 1/4"X192"			227'-5 15/16"	1000525	31388
PL1 1/4"X84"	Grating	5	18'-10 5/8"	27363	843
Total for: PL1 1/4"X84"			94'-5 1/8"	142156	4384
PL1 1/4"X48 1/8"	Grating	3	5'-0 7/8"	6134	187
Total for: PL1 1/4"X48 1/8"			15'-2 5/8"	18403	560
PL1 1/4"X40"	Grating	1	3'-6"	3565	107
Total for: PL1 1/4"X40"			3'-6"	3565	107

Fuente: propia

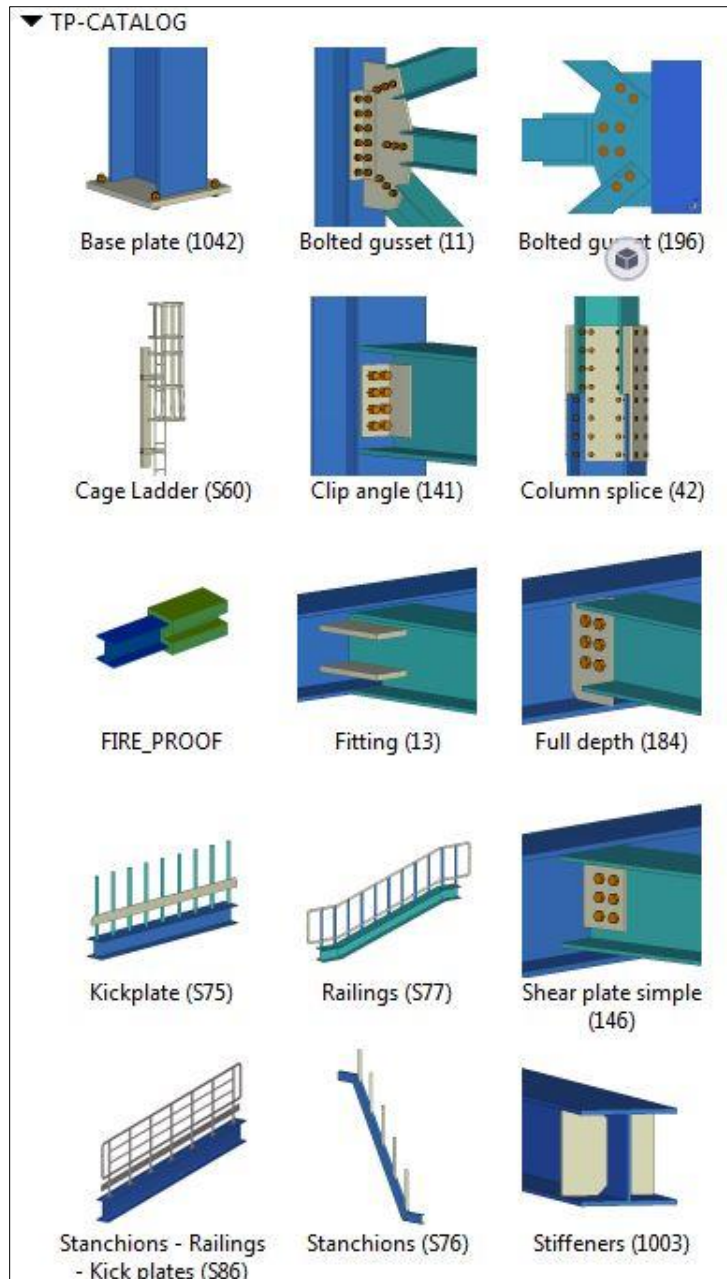
Figura. 21 Estructura de proceso



Fuente: propia

Nota: estructura de proceso exportada directamente desde el software de cálculo STAAD Pro. Como se puede observar en la etapa A, el proyectista tiene como trabajo completar el resto de la estructura como barandillas, rejillas y escaleras.

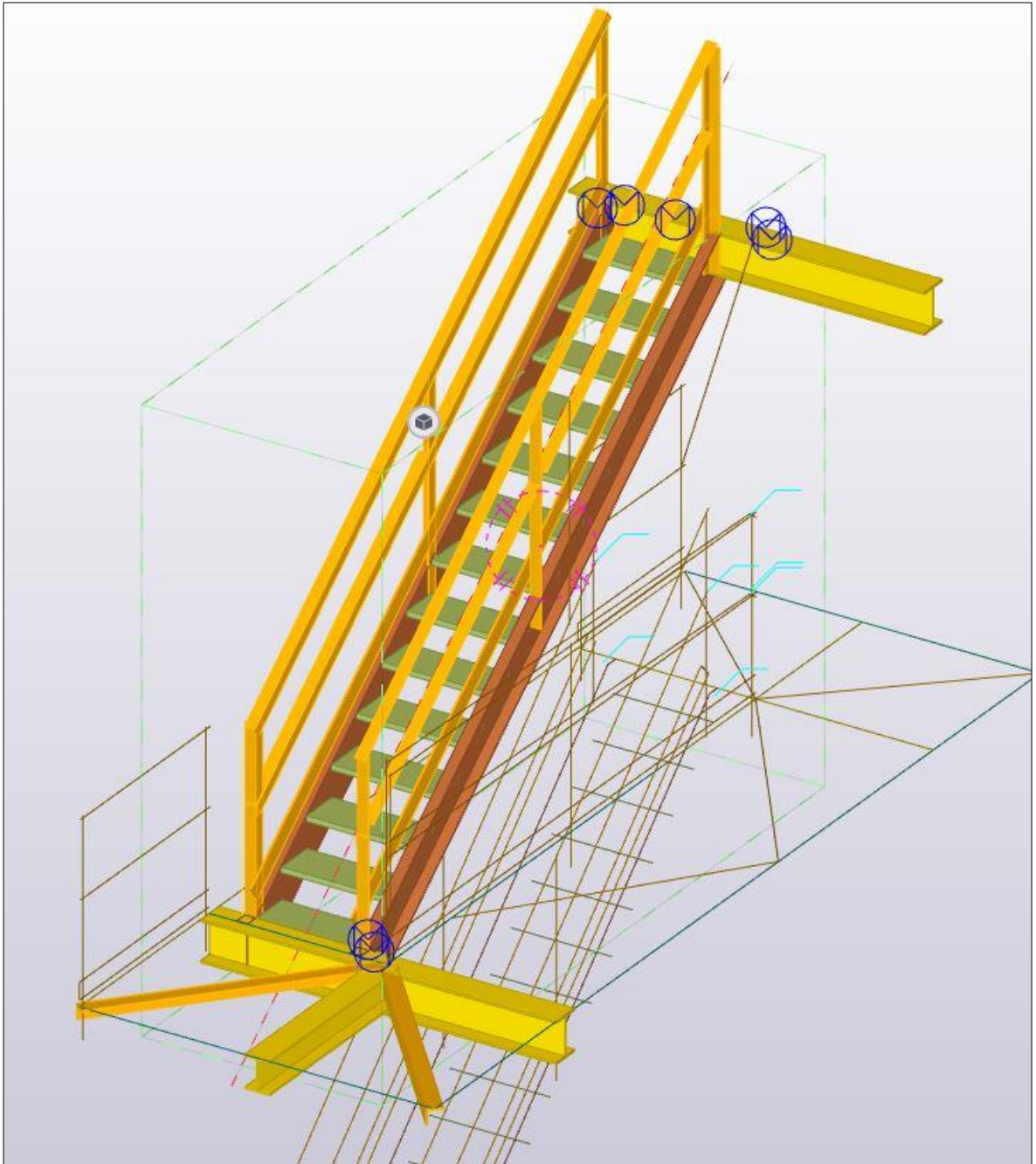
Figura. 22 Componentes básicos Tekla Structures



Fuente: propia

Nota: Catalogo de conexiones y componentes básicos personalizables compatibles con estándares internacionales.

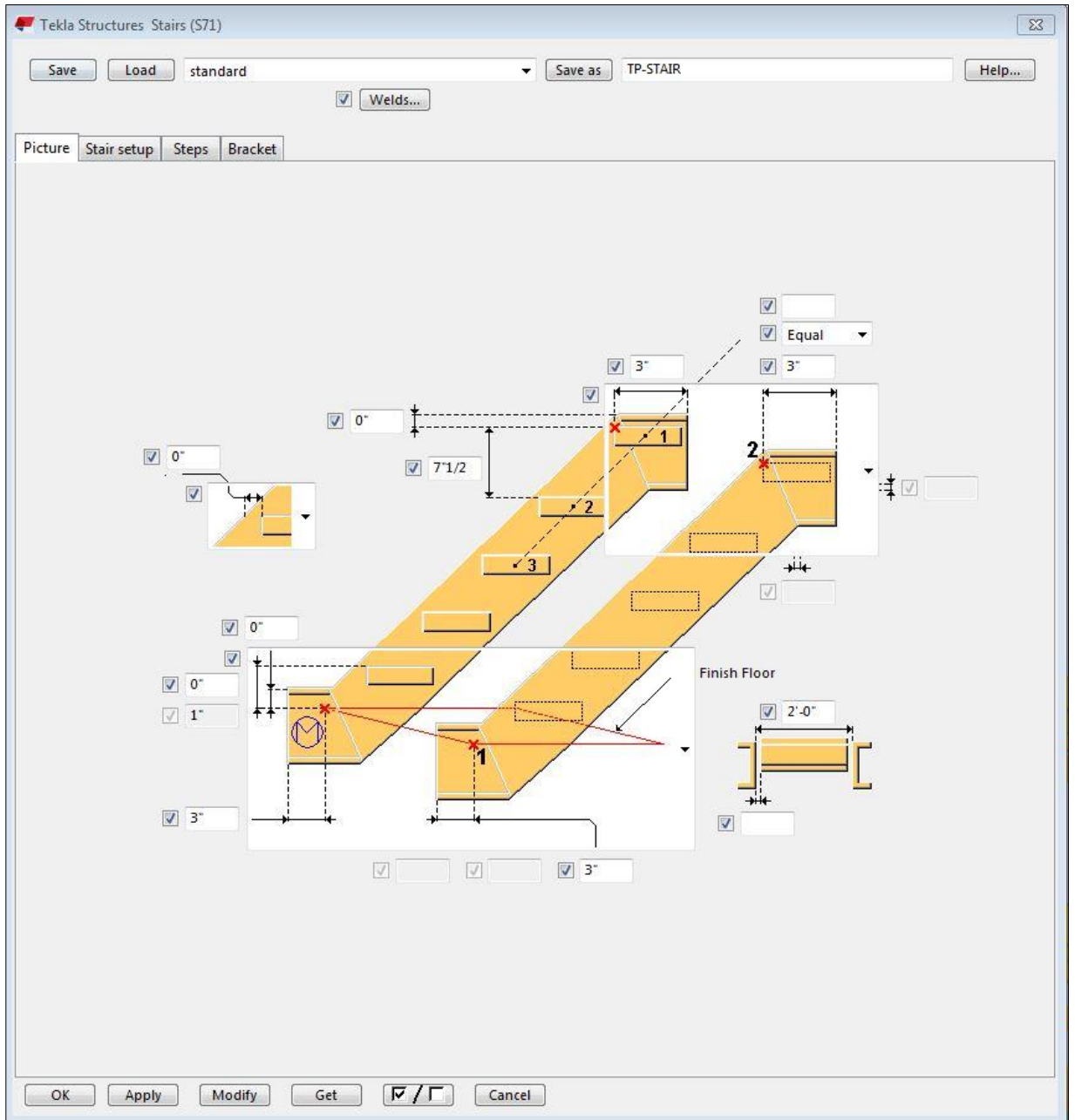
Figura. 23 Componentes básicos Escalera



Fuente: propia

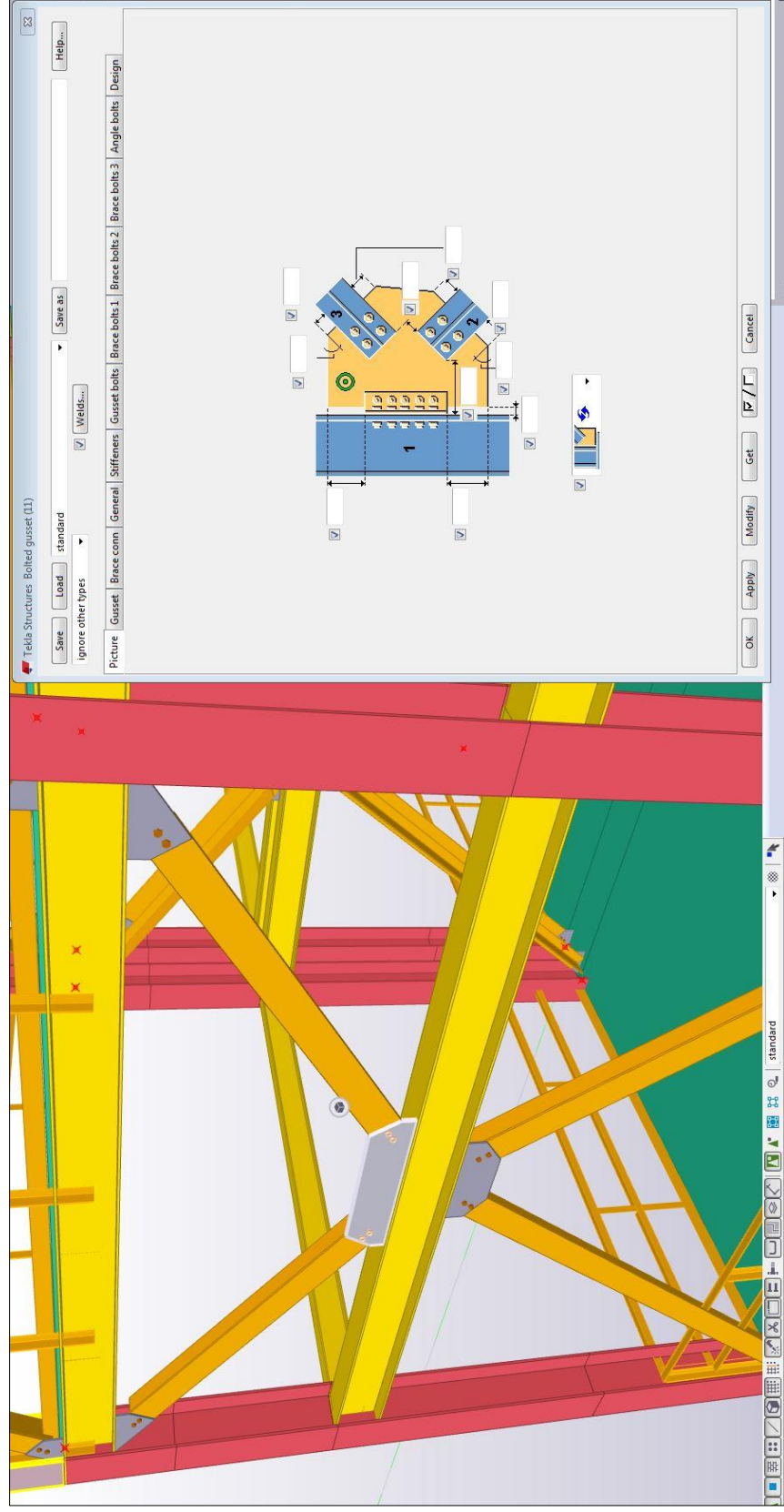
Nota: el componente escalera está configurado con los estándares de construcción norteamericano

Figura. 24 configuración componente Escalera



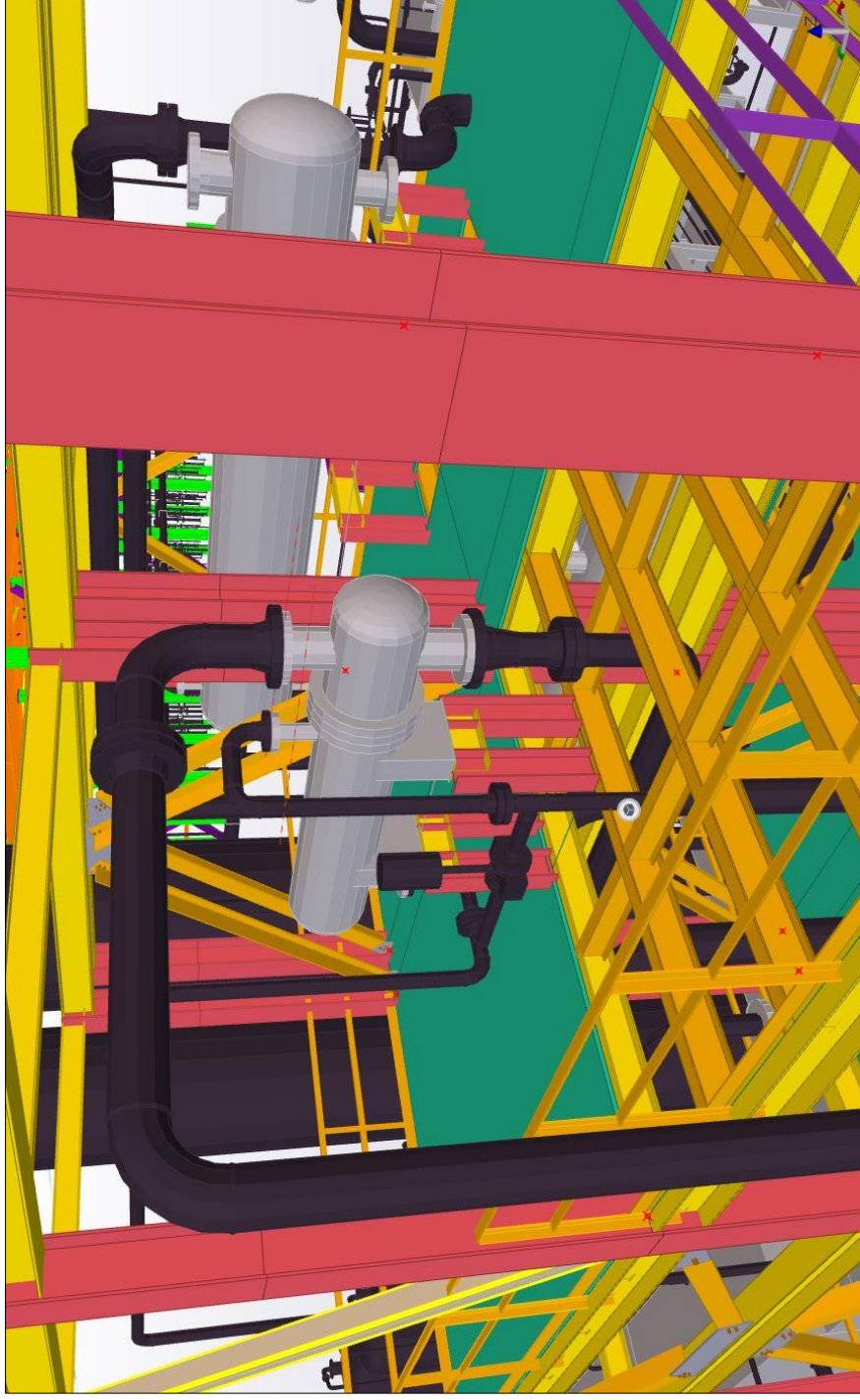
Fuente: propia

Figura. 27 Componente conexión riostras



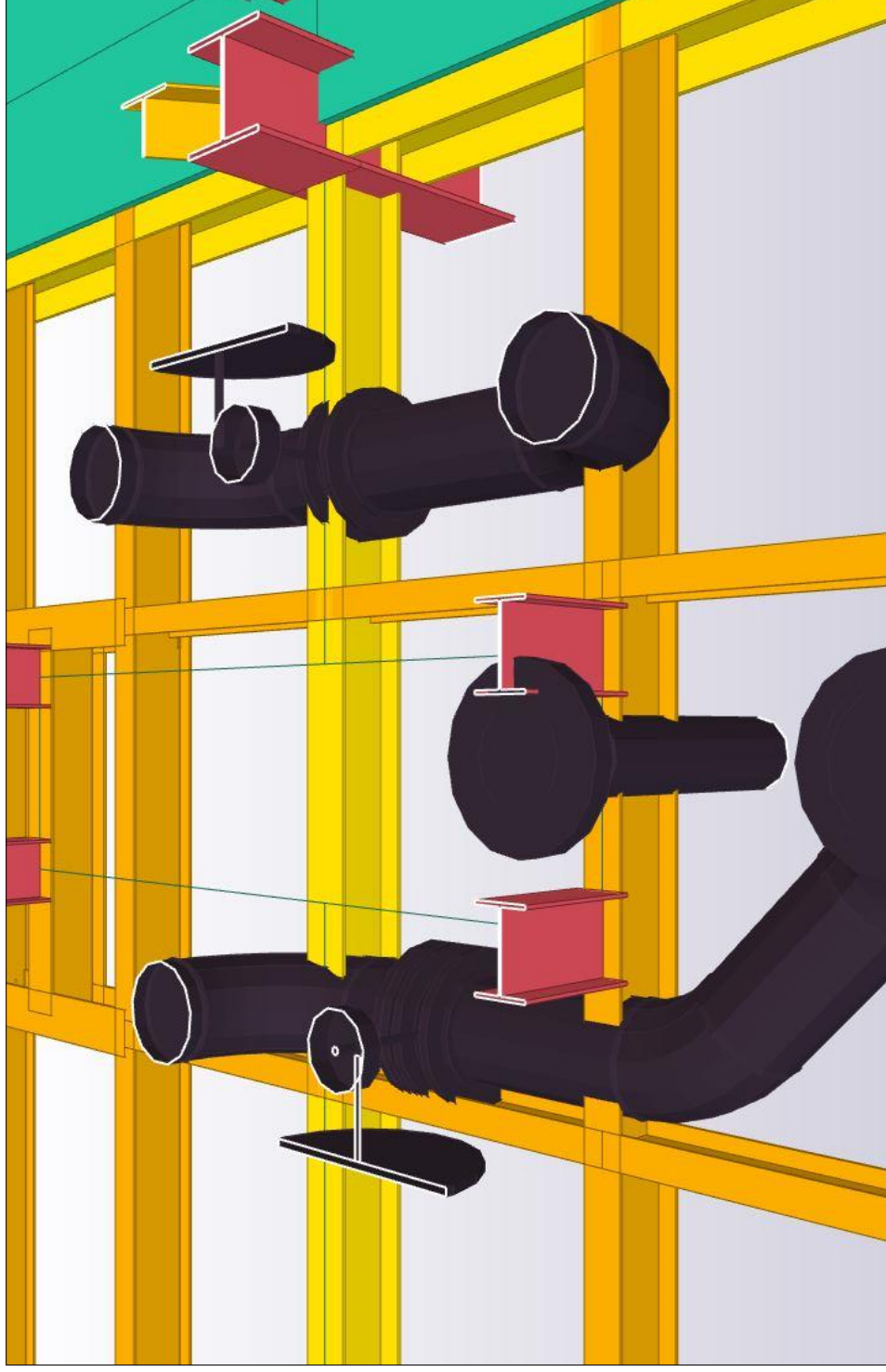
Fuente: (Propia)

Figura. 28 Referencia otras disciplinas en Tekla Structures



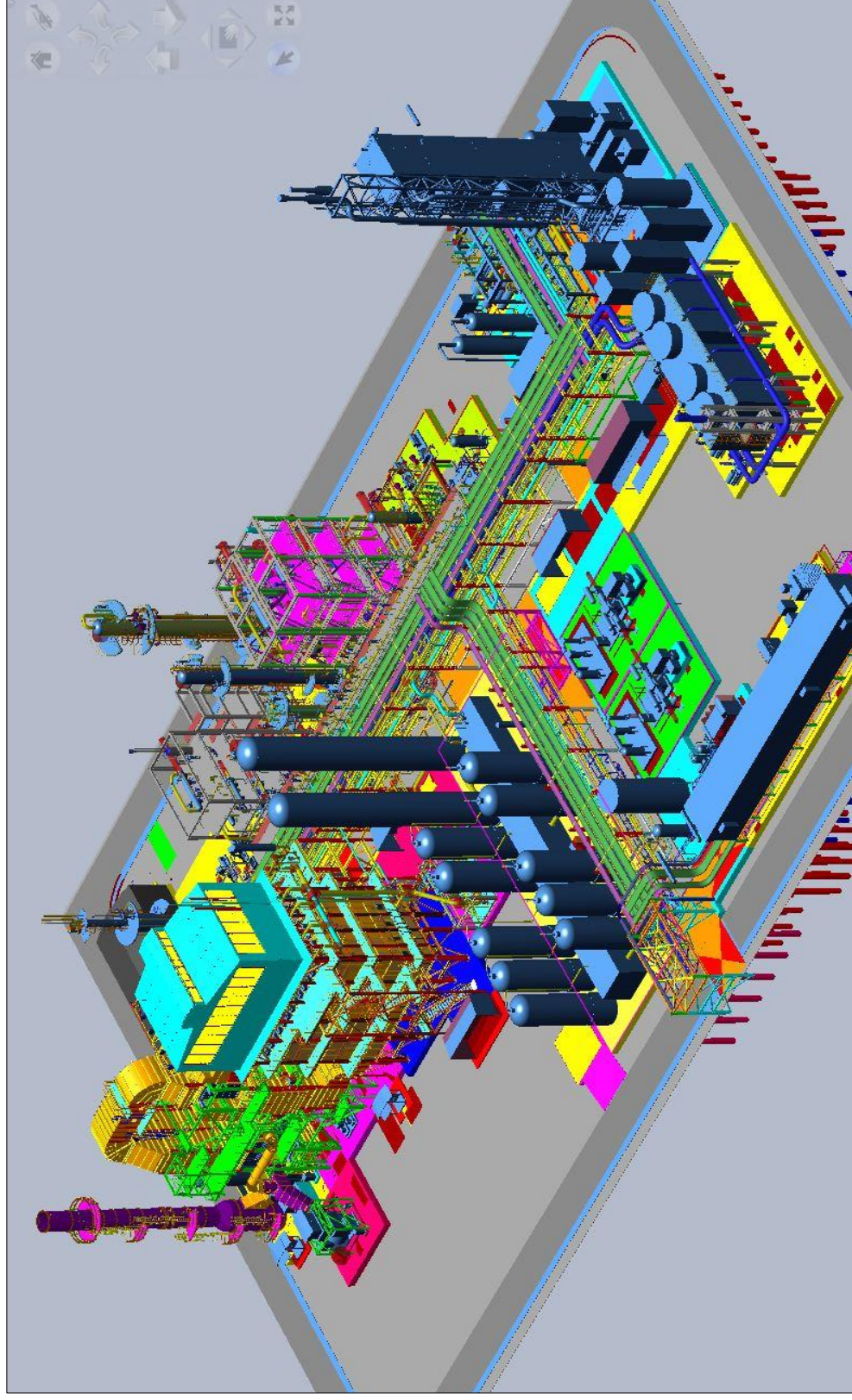
Fuente: (Propia)

Figura. 29 Ejemplo de interferencias de otras disciplinas con el modelo Tekla Structures de obras



Fuente: (Propia)

Figura. 30 Modelo 3D todas las disciplinas en Smart Plan Review.



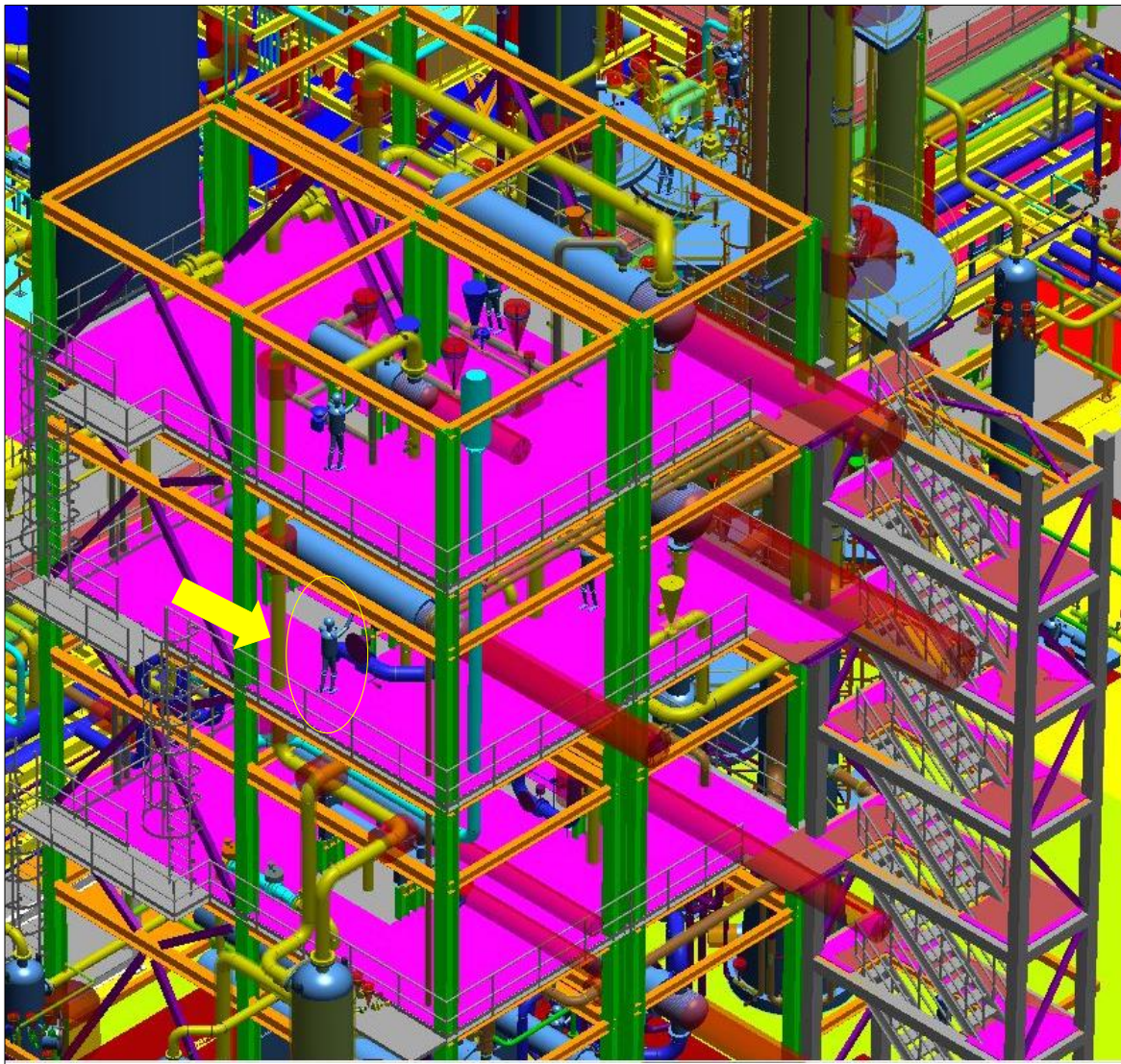
Fuente: (Proyecto Geismar)

Figura. 31 Vista lateral planta de hidrogeno todas las disciplinas en Smart Plan Review.



Fuente: (Proyecto Geismar)

Figura. 32 *Escala humana modelo 3D estructura de proceso.*



Fuente: *(Proyecto Geismar)*